

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

Studium protikoroze ochrany tramvajových dílů

Study of Anticorrosive Wardships of Tram Parts

Student: Priviczer Jan

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová CSc.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Priviczer**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Specializace: **70 Strojírenská technologie**  
Téma: **Studium protikoroziní ochrany tramvajových dílů**  
**Study of Anticorrosive Wardships of Tram Parts**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte rozbor současného stavu technologie povrchové úpravy tramvajových dílů.
2. Provedte současný rozbor vad vyskytujících se v povlaku.
3. Navrhněte technologii povrchové úpravy.
4. Provedte experimentální zkoušky a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu v rozsahu 25 - 30 stran.

Seznam doporučené odborné literatury:

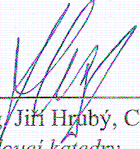
MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.  
PODJUKLOVÁ, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 1994. 1. vydání. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.  
ČSN EN ISO 12 944. *Protikoroziní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Český normalizační institut, 1998, 1999, 2008.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry

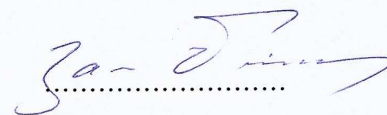


  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

#### Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 14.9.2010

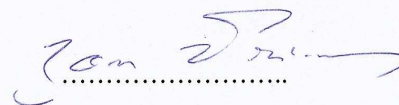


podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́еднано, že s VŠB-TUO, že v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́еднано, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 14. 9. 2010



Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jan Priviczer

Adresa trvalého pobytu autora práce: Albrechtická 37b, Krnov

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

PRIVICZER, J. Studium protikorozi ochrany tramvajových dílů : bakalářská práce.  
Ostrava : VŠB – Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické  
technologie, 2010, 58 s. Vedoucí práce: Podjuklová, J.

V oblasti výroby a opravárenství kolejových vozidel, je zjišťování možnosti protikorozi ochrany materiálů důležitou oblastí, které je potřeba se věnovat z hlediska zajištění kvality a životnosti výrobků. Tato práce se po úvodní korozi charakteristice a specifikaci možných příčin vzniku koroze zabývá zjišťováním možných vad a nedostatků při přípravě ocelových materiálů před nanášením ochranných nátěrových systémů. Na rozdílně předupravené ocelové panely byly nanášeny nátěrové systémy ve více modifikacích pro zjištění optimální přípravy povrchu materiálu a specifikaci vhodného nátěrového systému jako finálního produktu. Modelové nátěry byly testovány pomocí fyzikálních a urychlených korozi laboratorních zkoušek v kondenzační komoře a odtrhovou zkouškou pro zjištění přilnavosti.

## **BACHELOR THESIS ANNOTATION**

PRIVICZER, J. Study of tram parts anticorrosive protection : Bachelor Thesis.  
Ostrava : VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering,  
Department of Mechanical Technology, 2010, 58 p. Thesis supervisor: Podjuklova, J.

In production and railway vehicles repairs the material anti-rust protection possibility determination is very important in terms of quality assurance and product lifetime. After preliminary corrosion characteristic and specification of eventual reasons of corrosion formation this thesis is concerned of eventual defects and imperfections determination at steel materials preparations before protective painting systems application. The painting systems have been applied on the differently pre-set steel boards in more modifications for optimal material surface preparation and specification of suitable painting system determination as final product. Painting types have been tested by physical and accelerated corrosion laboratory tests in a condensation chamber and by pull-off adhesion test.

# Obsah

	strana
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	9
0 Úvod.....	10
1 Rozbor současného stavu.....	11
1.1 Průřez podnikem.....	11
1.2 Tramvajový program.....	12
1.3 Protikorozní ochrana.....	12
1.4 Antikorozní ochrana kovů pomocí organických povlaků.....	14
1.5 Technologická příprava podkladového materiálu.....	15
1.6 Inhibitory koroze.....	16
1.7 Odmašťování.....	16
1.8 Odmašťování hrubé stavby tramvaje.....	16
1.9 Odmašťování ocelových drobných dílů.....	17
1.10 Fosfátování.....	17
1.11 Otryskávání.....	18
1.12 Nanášení organických povlaků na bázi nátěrových hmot.....	19
1.13 Základní nátěr.....	19
1.14 Příprava pro vrchní nátěr.....	20
1.15 Finální nástřik dle specifikace.....	20
2 Vady vyskytující se v povlaku.....	21
2.1 Koroze.....	21
2.2 Rozdělení koroze.....	22
2.3 Atmosférická koroze.....	23
2.4 Druhy korozního napadení.....	23
2.5 Koroze pod organickými povlaky.....	25

2.6	Vytváření puchýřků.....	26
2.7	Blesková koroze.....	26
2.8	Nítková koroze.....	27
2.9	Faktory ovlivňující rychlost koroze.....	27
2.10	Adheze.....	27
2.11	Permeabilita filmu nátěru.....	27
3	Současná rizika v technologii povrchových úprav.....	29
3.1	Návrh technologie povrchové úpravy.....	29
4	Experimentální část.....	31
4.1	Příprava zkušebních vzorků.....	31
4.2	Specifikace přípravy základního materiálu před aplikací nátěrem.....	32
4.3	Příprava nátěrových hmot.....	36
4.4	Použité stroje a vybavení.....	37
4.5	Metodika experimentálních prací.....	37
4.5.1	Stanovení adheze, stupně přilnavosti nátěru mřížkovou metodou.....	37
4.5.2	Stanovení tloušťky nátěru.....	38
4.5.3	Korozní zkoušky nátěrových hmot.....	38
4.5.3.1	Zkouška za přítomnosti solné mlhy.....	38
4.5.3.2	Metody hodnocení koroze při zkouškách v umělých atmosférách.....	39
4.5.3.3	Metoda pro hodnocení stupně tvorby puchýřků v nátěru.....	39
4.5.3.4	Vyhodnocování koroze v řezu.....	41
4.5.3.5	Metoda pro vyhodnocování stupně koroze v ploše podkladu.....	41
4.5.3.6	Celkové hodnocení korozních zkoušek.....	42
5	Vyhodnocení výsledků a jejich diskuze.....	44
5.1	Vyhodnocení vlastnosti povlaků na základě mechanických zkoušek.....	44
5.2	Tloušťka nátěrových filmů.....	44

5.3	Vyhodnocení stupně přilnavosti nátěru mřížkovou metodou.....	44
5.4	Vyhodnocení korozní zkoušky v komoře se solnou mlhou.....	46
5.5	Vizuální vyhodnocení vzorků v průběhu zkoušky solnou mlhou.....	46
5.6	Vyhodnocení zkoušky stupně puchýřkování.....	53
5.7	Vyhodnocení zkoušky koroze v řezu.....	56
5.8	Vyhodnocení zkoušky prorezavění v ploše podkladu.....	58
5.9	.Celkové vyhodnocení korozních zkoušek.....	60
6	Závěr.....	63
	Použitá literatura	
	Přílohy	



## Seznam použitých zkratek a symbolů

A	celková antikoroziční účinnost
A <sub>1</sub>	číselná hodnota popisující stupeň koroze v podkladu
A <sub>2</sub>	číselná hodnota popisující stupeň puchýřovatění
A <sub>3</sub>	číselná hodnota popisující průměrné selhání v ploše řezu
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
°C	jednotka teploty
HV	jednotka tvrdosti
H <sub>2</sub> O	oxid vodný
MPa	jednotka tlaku
N <sub>2</sub>	značka dusíku
NaCl	chlorid sodný
O <sub>2</sub>	značka kyslíku
pH	chemická veličina-kyselost
Zn	značka zinku
ŽKV	železniční kolejová vozidla
%	vyjádření části celku celým číslem
μm	délková jednotka

## 0. Úvod

Problematikou zamezení koroze kovů je člověk nucen se zabývat od těch nejstarších dob, kdy vyrobil první železný předmět a ten mu v krátké době zrezivěl. Tento proces se dodnes nepodařilo zatím zastavit. Když hovoříme o korozi, máme na mysli především znehodnocení materiálu. Toto znehodnocení je způsobeno chemickým nebo fyzikálně chemickým působením okolního prostředí. A nejde jen o korozi kovů, které si pod tímto pojmem nejčastěji představujeme, ale jde také o korozi stavebních materiálů, plastů, jako jsou izolace, textilií a jiných. Nejvýznamnější korozí však přesto zůstává koroze kovů. Kovy, jako materiály nejčastěji využívané pro svou pevnost a pružnost v nejrůznějších odvětvích lidské činnosti, jsou vystavovány při svém použití mnohdy velmi různorodému agresivnímu působení nejrůznějších kyselin, zásad, solí, organických chemikálií, plynů, vodních par či dokonce tavenin. Všechny tyto vlivy působí na kovy velmi nepříznivě. Při výrobě větších výrobků a konstrukčních celků je důležité skloubit konstrukční a technologické požadavky do takové úrovně, aby výsledná sledovaná protikorozní ochrana byla na co nejvyšší možné úrovni. Při výrobě tramvají, jejichž kostra je tvořena z ocelových profilů a skelet převážně z ocelového plechu hraje protikorozní ochrana vzhledem k celoročnímu provozu důležitou roli. K tomu, aby se korozi zabránilo, je nutné povrch kovu chránit především nátěrem, který by měl navíc působit esteticky. Nejrozsáhlejším způsobem ochrany proti atmosférickým vlivům je aplikace organických povlaků. Stupeň protikorozní ochrany ovšem nezávisí jen na složkách nátěrových hmot pojiva a pigmentech, které doplňují ochranou funkci pojiva a zajišťují estetickou stánku nátěru, ale rovněž na dokonalé přípravě povrchových vrstev základního materiálu.

V technické praxi se nejčastěji využívá pravidlo kombinované protikorozní ochrany, a to metoda ochrany volbou vhodného materiálu s ochranným povlakem. Pro správnou volbu materiálu a jeho přípravu před nanesením ochranného povlaku je třeba bezpečně znát charakteristiky korozní odolnosti. Nevhodnými kombinacemi materiálů a jejich nesprávnými přípravami může dojít k úplnému znehodnocení jinak vysoce odolných kovů nebo ochranných povlaků. Jeden ze způsobů, jak předcházet korozi ocelových výrobků a konstrukcí a současně zvýšit životnost, je ochrana povrchu organickými povlaky na bázi nátěrových hmot. Jedná se o nejběžnější a ekonomicky nejvýhodnější způsob ochrany konstrukcí před korozí. Ekonomické následky nekvalitní povrchové úpravy zhoršují celkovou hodnotu výrobku.

# 1. Rozbor současného stavu

## 1.1 Průřez podnikem

Podnik „Krnovské opravny a strojírny, s.r.o.“ vznikl 2. července 1992 transformací dříve státního podniku s dlouholetou tradicí. Krnovské dílny pro opravy kolejových vozidel vznikly ve spojení s výstavbou a zprovozněním železniční tratě Olomouc – Krnov – Opava. Na této trati byl provoz zahájen 1. října 1872 a současně se zprovozněním byly vybudovány v Krnově dílny jako technická základna pro opravy parních lokomotiv, nákladních a osobních vozů. Po vzniku společnosti se v plném rozsahu a bez přerušení pokračuje ve stávajícím výrobním programu. Jejím hlavním zaměřením i nadále přetrvává oprava osobních a nákladních železničních kolejových vozidel (ŽKV), jejich rekonstrukce a přestavby, rekonstrukce historických vozidel, výroba náhradních dílů a strojírenská výroba. Výrobní program se rokem 2003 rozšiřuje i na výrobu, opravy a rekonstrukce tramvajových vozidel. Se zavedením tramvajové výroby podnik přechází z typicky opravárenského systému řízení výroby na malosériovou strojírenskou montážní produkci.

Jedná se převážně o zakázkovou a malosériovou výrobu tramvají různých typů vyhotovení s rozličnými úpravami spojenými s přáním zákazníka. Tato struktura výroby je jednoznačně spojena s vysokými nároky na jakost, bezpečnost a životnost produktu, kde poskytovaná záruční doba je cca 4 roky. Legislativa v souladu s požadavky zákazníků kladou nemalé, ale oprávněné nároky na několikanásobnou kontrolu kvality.

V této souvislosti byl významně rozšířeny útvary kontroly, technologie i projekce a současně jsou zaváděny rovněž systémy organizace práce typické pro strojírenskou sériovou výrobu. Současné přístupy zajišťování formy jakosti jsou postaveny na základě předcházení zbytečným nákladům a plýtvání jak technických, tak pracovních zdrojů. Prevence je zajišťována cestou neustálého shromažďování potřebných informací a skutečností o chování daného procesu, prováděním vyhodnocování, stanovení jejich analýz a následném působení na výrobní proces tak, aby výsledné výstupy měly konečné požadované vlastnosti. Jen tak lze dosáhnout potřebné kvality a jakosti spojené s výrobní náročností, požadavky zákazníka a stále stoupající konkurencí v oboru výroby, oprav a rekonstrukcí tramvajových vozidel.

## 1.2 Tramvajový program

Zásadní změnou ve výrobním programu podniku bylo zavedení výroby a rekonstrukcí tramvají spojenou se všemi nároky a těžkostmi souvisejícími s novou a nezavedenou produkcí. S doposud stávající stálou výrobou ji spojovalo pouze jediné, a to pohyb po kolejích. Po úvodních těžkostech vyplývajících z požadavků zavedení nových konstrukčních a technologických faktorů se postupem času výroba těchto kolejových vozidel dostala do fáze, kdy je možné konstatovat, že je nutno na konkurenčním trhu s podnikem „Krnovské opravny a strojírny, s.r.o.“ počítat.

Samotná výroba tramvají nabízí celou škálu možných úskalí, které konečný uživatel, tedy cestující, nemá možnost posoudit. Z pohledu cestujícího jde hlavně především logicky o kvalitu cestování. Ta obnáší v první řadě celkový dojem z interiéru, pohodlné sezení, dostatek prostoru při průchodu, umístění a dostupnost madel, snížení nástupních prostorů, bezbariérový vstup a v neposlední řadě informační systém nebo klimatizaci.

Ovšem z pohledu zákazníka a ve většině případů provozovatele zároveň přibývají k těmto požadavkům další nezanedbatelné aspekty. Ty se týkají jakosti provedení, kvality jednotlivých konstrukčních celků, technologického zvládnutí výroby a hlavně životnosti celkového produktu a samozřejmě i jeho jednotlivých komponentů. Z tohoto hlediska je nutno si uvědomit v jakých náročných klimatických podmínkách jsou tramvaje celoročně provozovány. Z těchto ukazatelů vyplývají jednoznačně faktory zaměřující se převážně na odolnost skeletu tramvaje, podvozku a celé konstrukce vůči klimatickým podmínkám působícím na tyto celky s následnou možností vzniku korozního napadení se všemi aspekty, které s tímto problémem souvisí.

Na základě obchodních podmínek sjednaných se zákazníkem se stanovuje garanční doba na zhotovené tramvaje a její komponenty na určitou dobu stanovenou zákazníkem. Po celý tento čas zhotovitel ručí za celý výrobek, jeho jednotlivé díly a samozřejmě i za celkovou jakost odvedené práce. Obchodní podmínky a záruční doba stanovují pouze povinnost zhotovitele vůči zákazníkovi, ale cílem a koncepcí dobrého podniku s ohledem na spokojenost zákazníka s možností další spolupráce musí být kvalitní, spolehlivý konkurenceschopný výrobek s mnohaletou životností.

## 1.3 Protikorozní ochrana

Korozní odolnost tramvaje tvoří jednu z klíčových vlastností kvalitního výrobku, a proto je nutno se jí zabývat v nemalé míře. Tato problematika zahrnuje rozmanité

spektrum možností, jak předcházet korozi kovových materiálů tvořících skelet tramvaje v jednotlivých technologických úsecích výroby.

Rozdělení metod protikorozní ochrany z technického hlediska:

- Správná volba konstrukčního materiálu, který za daných podmínek bude korodovat únosným způsobem, nebo upravit jeho složení tak, aby co nejvíce vyhovoval provozním podmínkám. Mezi tuto metodu ovlivnění koroze jsou zahrnuty rovněž spoje různých kovů. Při znalosti různých kombinací faktorů některých známých forem koroze volíme takové materiály, které mají za určených podmínek nižší sklon k nebezpečným typům koroze, mezi které patří bodová koroze nebo mezikrystalová koroze.
- Změna vlastností korozního prostředí nebo technologických podmínek na přípustnou míru. Uplatňujeme dva různé principy ochrany. První je odstranění korozně aktivní složky a druhým je přísada látek, jež průběh koroze podstatně zpomalí, například úprava korozního prostředí přísadou vhodného inhibitoru.
- Úprava konstrukčního řešení výrobku tak, aby nevznikalo zhoršení korozních podmínek. Častý problém vzniká při spojování materiálů rozdílných mechanických nebo fyzikálních vlastností nebo vytváření konstrukčních celků s nízkou technologickou přístupností pro vytvoření dostatečné protikorozní ochrany.
- Opatření konstrukčního materiálu ochranným povlakem dostatečné tloušťky a korozní odolnosti pro zaručení požadované životnosti. Je vhodné si uvědomit, že z pohledu korozní odolnosti je pro jednotlivé kovy rozhodující vlastnosti jejich povrchu.
- Kombinace metod ochrany znamená použití dvou a více metod v jednom systému. V praxi využít především kombinací metody ochrany volbou vhodného materiálu s ochranným povlakem nebo kombinace elektrochemické ochrany s volbou odolného materiálu nebo ochranou vrstvou.

Jedním z důležitých a nezapomenutelných technických hledisek je i sjednocení požadavků na fyzikálně mechanické vlastnosti materiálu a jeho korozní odolnost. V praxi to znamená umožnění kombinace dobrých mechanických vlastností korozně méně

odolných materiálu s výbornými odolnostmi ochranných povlaků. Požadovanou kvalitu povlaku je však nutno zabezpečit důslednou kontrolou během jednotlivých technologických operací. Například při špatně konstrukčně zadaném tvaru výrobku by nebyla tato kontrola umožněna zejména v kritických místech, je následná povrchová úpravy pochybná a nesplňovala by svůj účel.

### **Klimatické a provozní podmínky**

Správná volba povrchové úpravy je závislá od působení agresivity prostředí na daný materiál nebo výrobek při provozování hotového výrobku v určitých daných specifických podmínkách. Rozlišujeme několik stupňů korozní agresivity atmosféry s přihlédnutím na klimatickou oblast, ve které se výsledný produkt bude provozovat. Patří mezi ně například oblast s mírným, studeným nebo vlhkým tropickým klimatem. Při zjištění dané klimatické oblasti a odvození výsledného stupně agresivity atmosféry se zpracuje příslušný konečný technologický návrh opatření pro povrchové úpravy i se způsobem kontroly kvality povlaků.

## **1.4 Antikorozní ochrana kovů pomocí organických povlaků**

Základním principem ochrany kovových materiálů proti korozi je získání takového systému materiál – prostředí, při kterém by se zvyšovala jeho termodynamická stabilita a zároveň se snižovala rychlost korozních reakcí. Nejrozšířenějším způsobem ochrany kovů proti koroznímu napadení je aplikace organických povlaků vytvářených pomocí nátěrových hmot, které musí zároveň splňovat důležité faktory jako vliv na životní prostředí a ekonomiku povrchových úprav. Aplikací organických povlaků na povrch kovového předmětu je vytvořena bariéra proti působení okolního prostředí. Na celkových ochranných vlastnostech nátěru se převážně podílejí faktory představující přilnavost, tloušťku, nasákavost, propustnost pro korozní média, chemickou podstatu pojiva, inhibiční účinky pigmentů a v neposlední řadě rovněž kvalitu předpravy povrchu. Pokud dojde ke vzniku koroze kovového podkladu pod povlakem, je to následkem selhání ochranné funkce samotného povlaku za nevratných změn. Organický povlak chrání povlak kovového předmětu nejen adhezně-bariérovým mechanismem, ale i inhibičním, elektrochemickým či jejich kombinací. [1]

Podle způsobu ochrany před korozními vlivy můžeme nátěrové systémy rozdělit do tří skupin.[2]

**Bariérová ochrana** – je způsob povrchové ochrany, při které nátěr (nátěrový systém) působí mechanicky, nátěr vytváří dostatečně silný inertní a nepropustný nátěrový film. Tímto způsobem je položena mezivrstva mezi okolní prostředí a povrchově upravovaný předmět.

**Inhibiční ochrana** – je to povrchová ochrana, při které je chemickou reakcí docíleno zpomalení nebo zastavení korozních procesů. Při tomto způsobu povrchové ochrany největšího významu nabývají antikorozní anorganické pigmenty nebo organické inhibitory koroze. Inhibiční ochrana je v praxi téměř ve všech případech spojována s ochranou bariérovou.

**Elektrochemická ochrana** – založena na principu galvanického článku vytvořeného v samotném systému, u kterého se v důsledku změny elektrického proudového pole korozní procesy přesouvají na přídavnou elektrodu. Elektrochemická koroze je spojována s nátěrovou ochranou bariérového typu.

### **Organické inhibitory koroze**

Inhibitory koroze kovů představují chemické látky, které přidány v malé koncentraci do korozního prostředí snižují svým chemickým účinkem korozní napadení kovů, aniž podstatně změní koncentraci složení prostředí. Od inhibitoru koroze se neočekává úplné zastavení koroze, ale pouze její zpomalení na přijatelnější míru. Ochranu substrátu před korozí během zasychání filmu má za úkol krátkodobý inhibitor. Jsou to inhibitory bleskové koroze. U inhibitorů koroze dlouhodobých je jejich rozpustnost nízká pro zamezení vypalování korozně inhibičních látek z povlaku a zamezení vzniku osmotických procesů. Podle rozdílných mechanismů ochrany rozdělujeme inhibitory na anodické, katodické a smíšené.

## **1.5 Technologická příprava podkladového materiálu**

Tramvajový výrobní proces se skládá z určitých jednotlivých etap. Mezi jednu z nejdůležitějších v oblasti týkající se protikorozní ochrany patří příprava samotné hrubé konstrukce tramvaje. Tato samonosná konstrukce tvoří základní kovový podkladový materiál před aplikací samotného organického povlaku, vytvořeného pomocí nátěrových hmot. Při samotném vytváření ochranné vrstvy i při korozním namáhání povrchu je

důležitý stav rozhraní kov-povlak. Povrchová úprava vyžaduje určitý stav povrchu upravovaného výrobku nebo dílu, kterého je zapotřebí dosáhnout vhodnými operacemi.

Mezi předpovrchové úpravy materiálu řadíme technologie, které zbavují povrch materiálu před aplikací povrchových úprav nečistot tak, abychom získali technicky čistý povrch.[3]

Na povrchu kovu se nejčastěji objevují látky, které jsou vázány k povrchu převážně fyzikálními vazbami. Kovová konstrukce tramvaje se vyrábí svařováním a předešlé operace tvoří přípravu materiálu, převážně řezání a ohýbání. Při těchto úkonech zůstávají na materiálu nečistoty, prach, mastnoty a mazadla. Tyto mechanické nečistoty odstraňujeme odmašťováním. Další možné látky znečišťující povrch jsou na něj vázány chemicky. Jsou to například okuje, rez a oxidy a tyto nečistoty odstraňujeme mechanickými úpravami – otryskáváním. Korozní odolnost je značně ovlivňována drsností povrchu, která je určena rozdílnými způsoby mechanických nebo chemických úprav povrchu základního materiálu.

## **1.6 Inhibitory koroze**

Počáteční ochranou proti korozi, která leží na samotném začátku výroby svařované konstrukce hrubé stavby tramvajové skříně je používání inhibitoru koroze R 121 Simple Green. Je to universální aditivum pro povrchově působící aktivní látky s protikorozním účinkem. Tento prostředek se v koncentraci s vodou v poměru 1:10 používá na ochlazování ocelové konstrukce při rovnání pomocí autogenní soupravy. Zabraňuje v dostatečné míře vzniku počátku atmosférické koroze.

## **1.7 Odmašťování**

Správně provedené odmaštění kovového povrchu je základním předpokladem pro úspěšné provedení celé povrchové úpravy. Odmašťování je proces, kterým se z povrchu kovového materiálu odstraňují tuky a oleje, jichž se používá v prvovýrobě převážně při přípravě materiálu.

## **1.8 Odmašťování hrubé stavby tramvaje**

Pro dokonalé odmaštění konstrukce tramvaje se používá slabě alkalický nepěnivý odmašťovací přípravek s inhibitorem koroze vyráběný pod obchodním názvem Star 75 PNP. Tento přípravek je vodným roztokem, u kterého se nepředpokládá požární



nebezpečnost a má zaručenou ochranu vůči životnímu prostředí. Při práci s tímto přípravkem se používají běžné osobní ochranné pomůcky pro zamezení styku s kůží a očima. Tento alkalický prostředek obsahuje povrchově aktivní látku (tenzid), hydroxid draselný, silikát sodný a polyakrylát. Použitím povrchově aktivních látek při odmašťování se podstatně zvyšuje kvalita odmašťování, celý proces se urychluje a lze pracovat při nižších teplotách, čímž vznikají značné energetické úspory.[4] Samotný proces odmašťování se provádí postřikem vně i uvnitř skříně vysokotlakým zařízením Kärcher na určeném pracovišti, teplota přípravku je 30 °C. Koncentrace činí 100 váhových dílů vody se směsí s 5 váhovými díly přípravku Star 75 PNP. Po dokončení procesu odmaštění hrubé stavby tramvaje je zapotřebí provedení konečného oplachu horkou vodou. Tato operace zajistí konečné odstranění zbytku emulzí i samotných alkalických odmašťovadel ulpěných na kovovém povrchu. Následně se celá konstrukce skříně důkladně vyfouká tlakovým vzduchem a vysuší při teplotě 60 °C po dobu 3 hodin.

## **1.9 Odmašťování ocelových drobných dílů**

Proces úpravy povrchu drobných dílů, které se následně používají při samotné montáži, a odstraňování mechanických nečistot se provádí na lince určené pro odmašťování a chemické úpravy ocelových dílů před nanášením nátěrových hmot. Na lince chemických úprav se pracuje s žiravinami, a proto je zapotřebí dodržovat předpisy pro práci s louhy a kyselinami. Celá linka se skládá ze čtyř van. Díly se ukládají do ponorných košů a následná manipulace přemísťování do jednotlivých van je řešena pomocí portálového jeřábu.

V první vaně je odmašťovací prostředek Liquid Floor Cleaner v koncentraci 1: 40. Cleaner je biologicky rozložitelná látka a je schopna emulgovat mastnoty až do koncentrace 0,5 g/l. Lázeň se zahřeje na teplotu 60 °C a koš s materiálem se ponoří do lázně na dobu 15-30 minut. Míchání lázně je zajištěno pomocí čerání vzduchu. Následuje oplach ponorem do druhé vany, ve které je užitková voda po dobu 10-20 minut. Odmašťovat následujícím způsobem můžeme materiály ocelové, s povrchovou úpravou Zn a nerezové materiály.

## **1.10 Fosfátování**

Proces fosfátování charakterizuje chemickou úpravu kovů, při kterém vzniká na povrchu předmětu souvislá vrstva nerozpustných fosforečnanů. Tato vrstva je chemicky

pevně spojena se základním kovem. Nevýhodou je její poréznost, proto se používá pouze jako podklad pod nátěry. Fosfátování se používá před nanášením organických povlaků z hlediska zvyšování přilnavosti povlaku a vrstva vzniklých fosforečnanů především zabraňuje podrezivění

Na lince chemických úprav probíhá ve třetí vaně fosfátování pomocí fosfátovacího prostředku Surfosit D-6, což je roztok 20% kyseliny fosforečné. Daný prostředek obsahuje fosfáty, urychlovače a tenzory ve vodném roztoku. V lázni se udržuje pH na 4,5-5,5 pomocí louhu sodného. Při samotném procesu se lázeň zahřeje na teplotu 60 °C a materiál se ponoří na 5-10 minut. Ve čtvrté vaně probíhá oplach ponorem do užitkové vody a nakonec se díly ofoukají tlakovým vzduchem.

## 1.11 Otryskávání

Mezi mechanické úpravy kovového povrchu materiálu patří otryskávání. Jedná se o velmi účinnou a z ekologického hlediska výhodnou předpravou vhodnou zejména pro svařence, zkorodované materiály nebo materiály se zbytky starých nátěrů. Touto technologií dosahujeme potřebnou předpravu povrchu před nanášením ochranných povlaků, pomocí nátěrových systémů. Otryskáváním dosahujeme potřebnou jakost povrchu vytvořenou dokonalým očištěním povrchu od rzi, okují, případně jiných nečistot. Zároveň získáváme potřebnou mikrogeometrii a fyzikálně-mechanické vlastnosti povrchu. Při tryskání je materiál očišťován a zdrsňován při dopadu vhodného abraziva na jeho povrch. Charakter výsledného povrchu je závislý na tvaru, tvrdosti, zrnitosti a hmotnosti použitého zrna tryskacího prostředku. Otryskáváním se dosahuje rovněž zpevňování materiálu a lze dosáhnout zvýšení meze únavy až o 100 MPa.

K otryskávání používáme specializované pracoviště - tryskací box, kde je abrazivo urychlováno proudem stlačeného vzduchu. Při tomto druhu tryskání má tryskací prostředek menší kinetickou energii, která se dá regulovat tlakem použitého vzduchu. Abrazivo je z tlakové nádoby dávkováno do proudu stlačeného vzduchu a po vytryskání se přes podlahu v tryskacím boxu pod tlakem vrací zpět do tlakové nádoby. Používají se různé druhy tryskacích materiálů, ale jako hlavní dělení rozpoznáváme ostrohranné a s kulatým zrnem. K otryskávání skříně tramvají se používá ostrohranná ocelová drť GH 25 (dle ČSN GA 10) o tvrdosti 800-950 HV, která se neobměňuje pouze doplňuje. Pravidelným doplňováním se k částečně obroušenému abrazivu přidává nové. Otryskávací materiál musí být vždy suchý a bez škodlivých příměsí. U ostrohranného otryskávacího materiálu

dochází při dopadu k vysekávání materiálu, povrch není rovnoměrný a většina výstupků je ostrá. Dle daného postupu se tryská na čistotu povrchu Sa 2,5 dle ČSN ISO 8501-2 při dosažení drsnosti povrchu max. 40 mikronů. Čistota povrchu Sa 2,5 znamená velmi důkladné tryskání, kdy povrch musí být zbaven prostých olejů, mastnot, nečistot a všech okují, rzi, povlaků a cizích znečištění. Pro otryskání specifikovaných dílů, jako je třeba střecha, se musí přizpůsobit tlak vzduchu a úhel dopadu abraziva tak, aby nedošlo k deformaci střešních plechů.

Otryskaný povrch se vyznačuje vysokou reaktivitou s okolním prostředím.[5] V tomto stavu podléhá materiál snadné tvorbě tenkých oxidických filmů. Z tohoto hlediska musíme dodržovat určitý čas mezi otryskáním a nanášením následného povlaku pro docílení přilnavosti povlaku. Do 4 hodin po otryskání na krytém stanovišti se po pečlivém očištění všech tryskaných ploch kostry skříně, spodku a střechy od prachu, zbytků abraziva a případných tukových skvrn provádí základní nátěr. V případě, že je možno spolehlivě zajistit a udržet teplotu otryskané kostry skříně nejméně 3 °C nad rosným bodem při relativní vlhkosti prostředí maximálně 80 % je možno dobu po otryskání před nátěrem základní barvou prodloužit až na 10 hodin.

### **1.12 Nanášení organických povlaků na bázi nátěrových hmot**

Ochrana oceli nátěrem je nejběžnější a ekonomicky nejvhodnější způsob ochrany výrobků před korozí.[6] Vzniklý nátěr z větší části zabraňuje přístupu agresivním složkám a vodě k povrchu chráněného kovu, ale protože není úplně bezpórovitý, je potřeba používat inhibitory koroze a antikorozní pigmenty pro zneškodnění agresivních složek procházejících přes povlak k povrchu kovu.

### **1.13 Základní nátěr**

Nejkvalitnější a nejhodnotnější z pohledu jakosti je nátěr složený z několika vrstev, z nichž každá má jiné vlastnosti. Základní nátěr je první vrstva přiléhající přímo k natíranému povrchu a vytváří pevnou vazbu mezi kovem a dalšími nátěrovými vrstvami.

Po nanesení musí dobře zasychat a tvořit dostatečně tvrdý povlak, aby celkový několikavrstvý nátěr byl dostatečně tvrdý a pevný. Důležitým požadavkem na základní nátěr je velká protikorozní ochranná schopnost, dosažená přidáváním pigmentů zpomalujících korozi a filmotvorných složek málo propustných pro vodu i páru.

Pro nástřik rámu spodku ocelové kostry tramvaje a střechy se používá základní vodou ředitelná dvousložková barva s vysokým obsahem zinku weco-FAN-EP-2K ve směsi s tužidlem weco-FAN-EP-Härter v poměru 4:1. Minimální tloušťka dané vrstvy je 60 mikronů. Pokud je prováděno nanášení na lakovně je doba zasychání 24 hodin při 20 °C, pokud se provádí ve stříkacím boxu se sušením, potom je doba stanovena na 1 hodinu při 60 °C. Nástřik skříně vozu vně a uvnitř se provádí základní epoxidovou dvousložkovou barvou weco-POX-2K-Grundierung ve směsi s tužidlem weco-POX-Härter v poměru tužení 5:1. Tloušťka vrstvy a čas zasychání je obdobný jako u nástřiku spodku kostry tramvaje. Stejnou základní barvou je proveden nástřik bočnicových plechů, které se následně přilepují na kostru skříně.

### **1.14 Příprava pro vrchní nátěr**

Velké nerovnosti a prohlubně na skříně vozu se vyspravují tmelením, tmelem se skelným vláknem a po vytvrzení po 30 minutách při 20 °C se daná místa přebrousí brusným papírem č. 60-80. Nerovnosti větší než 2 mm se dále tmelí tmelem Rapid. Po vytvrzení se tmel přebrousí brusným papírem č.120-150 a opráší. Naneseme na skříně tramvaje epoxidový dvousložkový plnič weco-POX-2K-Grundierung ve směsi s tužidlem weco-POX-Härter a opět se musí přebrousit vzniklý film a ofoukat. V tomto stavu je tramvaj připravena na konečný nástřik vrchní barvou podle specifikace a zadání konečného zákazníka

### **1.15 Finální nástřik dle specifikace**

Konečná verze finálního nástřiku týkající se specifikace odstínů, rozvržení a hlavně druhu zvolené nátěrové hmoty (rozdělujeme podle druhu obsaženého pojidla) je ve větší míře určena konečným zákazníkem. Většina dopravních podniků má určené základní odstíny nátěrů a těch se drží. U nových a prototypových verzí tramvají dochází k zavádění i odvážnějších barevných verzí až po metalové laky.

## 2. Vady vyskytující se v povlaku

### 2.1 Koroze

Korozi lze definovat jako destrukci kovového materiálu. Destrukce kovového materiálu může být způsobena chemickými, fyzikálními nebo fyzikálně chemickými vlivy okolního prostředí.[7] Při korozi dochází ke zhoršení mechanických vlastností kovů, jako například pevnost, pružnost, tvrdost, dále dochází k poškození celistvosti, k netěsnostem, perforaci. Může následovat změna tvaru, jakosti povrchu a znehodnocení vzhledu. Velmi důležitou roli v tomto procesu hraje taky prostředí, které způsobuje korozi, a je v tomto směru velmi rozmanité. Rozličná korozní prostředí se svými korozními účinky na různé materiály se od sebe liší jednak v mechanismu, jednak v intenzitě působení. Při zkoumání koroze je třeba mít vždy na paměti nejrůznější možné technické nebo bezpečnostní důsledky. Může dojít k silnému porušení mechanických vlastností bez zjevného úbytku na jeho množství. Je to projevem různých forem strukturní koroze (mezi- a transkrystalové), nebo je-li koroze soustředěna na malou plochu a v ní rychle probíhá do hloubky (místní, bodová, důlková koroze). Zvláštní pozornost zasluhuje vliv současného působení napětí statického i dynamického a koroze, kdy vlivem těchto sil dochází k velmi rychlému praskání součástí. Z hlediska kinetiky je charakterizována jako samovolný děj, který je spojen s úbytkem Gibbsovy volné energie. Pokud není koroze zastavena, výsledkem je úplný rozpad kovu na korozní produkty - oxidy, sírany nebo uhličitany, které jsou termodynamicky stabilnější. Rychlost koroze je kvantitativně vyjádřena jako váhové množství zoxidovaného kovu za jednotku času na jednotce povrchu.[8]

Těchto několik závažných skutečností napovídá, že studium koroze a zvláště koroze kovů, má velmi komplexní charakter. Je proto zapotřebí v každém jednotlivém případě provést úplný rozbor systému kov - korozní prostředí se všemi faktory, které děj kvalitativně i kvantitativně mohou ovlivnit. Jedná se o teplotu, abrazivní vlivy, mechanické, namáhání, tlak nebo jiné faktory metalurgické jako čistota kovu, struktura, vnitřní pnutí a v neposlední řadě se může jednat rovněž o tak důležitý charakter povrchu, na který se následně aplikují organické povlaky na bázi nátěrových hmot jako finálního produktu.

Mnohdy se můžeme setkat s neuváženým snižováním pořizovacích nákladů na protikorozní ochranu ve směru snížení cen úpravy kovu právě pod nátěr. Ačkoli je dokázáno, že provedený nátěr na dokonale připravený (kovově čistý) povrch má až

trojnásobnou životnost než nátěr nanesený například na zrezivělý nebo zaokujený povrch, je to hlavní příčina předčasného selhání ochranného systému.

## 2.2 Rozdělení koroze

**Korozi kovů rozdělujeme do dvou hlavních skupin:**

*Elektrochemická koroze:* Probíhá za přítomnosti vlhkosti nebo vodných roztoků elektrolytů, tj. makroskopických, mikroskopických nebo submikroskopických míst na povrchu kovu. Podstatou je elektrochemická oxidace kovu, která musí být doprovázena ekvivalentní redukcí jiných složek v systému. Tento druh koroze probíhá v atmosféře, v přírodních vodách (slaných i sladkých), v půdě nebo taky v rozmanitých průmyslových prostředích.

*Chemická koroze:* Tento typ koroze spočívá v přímé chemické reakci kovu se složkami prostředí, které nevedou elektrický proud. Tento proces vede k vytvoření vrstvičky korozních zplodin na povrchu kovu, přičemž rychlost koroze je dána propustností této vzniklé vrstvičky. Při teplotách nad 100 °C za nepřístupu vody dochází na vzduchu k oxidaci kovu a následnému vzniku oxidické vrstvy (na železe okuje). Tato vrstva zpravidla zůstává na povrchu kovu a za určitých podmínek může chránit kov před další oxidací.[9]

V naší otázce možného korozního napadení tramvajových částí se jedná převážně o korozi chemickou. Rychlost chemické reakce závisí na způsobu, kterým reakce proběhne, a proto není určena pouze počátečním a konečným stavem. Výzkum kinetiky koroze je velmi náročný, protože často probíhá několik reakcí vedle sebe a základní předpoklad studia koroze znamená zvládnutí kinetiky korozních dějů. Rychlost chemické reakce je závislá na úměrnosti koncentrací reagujících složek, a protože ty se v průběhu reakce mění, mění se současně i okamžitá rychlost reakce.

Chemická koroze probíhající na rozhraní fází je heterogenní reakce. Typickým příkladem těchto reakcí je právě koroze kovů, protože se jedná o chemickou reakci tuhé fáze (kovu) s fází kapalnou (různé roztoky, voda), nebo plynnou (vzduch nebo jiné plyny).

Z těchto poznatků vyplývá rozdělení korozí dle reagujících fází na reakce kov – kapalina a kov – plyn a dle dílčích dějů, které omezují celkovou rychlost koroze, jako např. přivádění reagující složky prostředí k povrchu kovu, interakce kovu a prostředí nebo z dějů odvádějících reakční produkty.

## 2.3 Atmosférická koroze

V hodnocení patří atmosférická koroze mezi elektrochemické druhy. Je prokázáno, že k technicky významné atmosférické korozi dochází pouze v přiměřeně vlhkých atmosférách, kde na povrchu kovů různými mechanismy vznikají částice elektrolytu. Neutrální reakce elektrolytu je příčinou skutečnosti, že je atmosférická koroze vždy doprovázená současně vznikem tuhých korozních zplodin. V systému kov – atmosféra dochází k absorpci nejlépe zkapalnitelné části atmosféry, a to je vodní pára. Při nižších vlhkostech se vytváří na povrchu kovu kapalná fáze. Je to způsobeno především v nerovnostech kovového povrchu většinou mechanickým opracováním nebo přítomností tuhých nečistot. Následně vzniká na těchto mikronerovnostech kapilární kondenzace a ta je hlavní příčinou vzniku částic elektrolytu. Mimo hlavní složky atmosféry  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2O$  popřípadě  $CO_2$  se v ní nachází ještě další látky rozpustné ve vodě (solí, plyny atd.) a ty mají za následek skutečnost vzniku další kondenzace, a to chemické. Jedna z dalších možností vytvoření vrstvičky elektrolytu na povrchu kovu je vznik orosení při relativních změnách vlhkosti, atmosférické srážky a hlavně mlha nebo déšť.

*Kritickou vlhkost* můžeme definovat jako minimální relativní vlhkost, při níž dochází na povrchu kovu základního materiálu k vytváření částic elektrolytu potřebných pro průběh elektrochemické koroze. Kritická vlhkost je velmi ovlivněna vlastnostmi atmosféry a vlastnostmi povrchu korodujícího kovu. Velké snížení kritické vlhkosti atmosférické koroze způsobují svou hygroskopičností, to znamená fyzikálními a chemickými vlastnostmi korozní zplodiny. Silná atmosférická koroze vzniká v průmyslových oblastech s vlhkou a znečištěnou atmosférou. O její intenzitě rozhodují především místní vlivy omezené třeba prostorami závodů a jejich okolí, nebo přímo na určité výrobní zařízení.

## 2.4 Druhy korozního napadení

Korozní napadení rozdělujeme do několika forem, které závisí na materiálu (druh, čistota, struktura a vlastnosti), dále na korozním prostředí, ve kterém se vyskytuje, a na daných podmínkách, kterým je v tomto prostředí vystaven.

### **Koroze rovnoměrná**

Při styku korozního prostředí s kovem začíná probíhat korozní děj a jeho aktivita je určena korozními podmínkami. Při dokonalém přístupu prostředí k povrchu je počet aktivních míst značný a dochází k stejnosměrnému napadání a rozpouštění povrchu materiálu.

Rovnoměrně jsou napadány kovy zvláště v případě, kdy je celá korodovaná plocha pokryta korozními zplodinami. Tento typ koroze má ve většině případů konstantní rychlost, je nejnápadnější, ale z druhé strany nejméně nebezpečná forma.

### **Koroze skvrnitá**

Pokud je reaktivita kovu nižší, snižuje se i počet aktivních míst. Při odstranění těchto napadení se koroze značně zpomaluje a napadení se rozšiřuje do stran. Vznikají mělké skvrny, které se nerozšiřují do hloubky daného kovu. Pokud nadále příznivě působí prostředí, mohou se tyto skvrny spojovat a přecházejí následně na korozi rovnoměrnou.

### **Koroze bodová**

Vzniká místním zvýšením aktivity korozních zplodin nebo poškozením pasivní vrstvy kovového povrchu. Je charakteristická pro snadno pasivovatelné kovy. Bývá zasažena převážně malá část povrchu a napadení proniká do značné hloubky daného kovu.

### **Koroze důlková**

Stejně jako bodová koroze i důlková se projevuje místním napadením povrchu materiálu a hloubka je obvykle menší než šířka průměru důlku. V tomto srovnání je podstatný rozdíl vůči korozi bodové. Důlková koroze nastává ve většině případů, když je na povrchu kovu vrstva bránící korozi, na které jsou póry, nebo defekty umožňující prostup koroze k samotnému povrchu kovu.

### **Koroze štěrbinová**

Tento typ koroze je charakteristický pro místa, kde mezi jednotlivými materiály je mezera a nedoléhají úplně na sebe. Příčinou vzniku koroze je pravděpodobně různá prokysličitelnost vniklé kapaliny mezi materiály. Na styku kapaliny s atmosférou je nasycena kyslíkem, zatímco uvnitř je kyslík oxidací železa spotřebován.

### **Koroze mezikrystalová**

Vzniká v materiálu s podstatně odlišným složením objemu zrna proti hranicím zrn. Tento druh koroze proniká do hloubky v podobě sítě trhlin probíhajících po hranicích zrn z povrchu materiálu. Příčinou vzniku bývá obvykle technologické zpracování především nerezavějících ocelí ohřevem v oblasti teplot 500 až 800 °C. Může dojít i k případu, že hranice zrn korodují silněji a střed zrna se vydrolí.



## **Koroze atmosférická**

Patří mezi korozi elektrochemickou vyvolanou vlhkostí a agresivními nečistotami v ovzduší. Korozní napadení probíhá výhradně na anodových místech povrchu materiálu a výsledkem je rovnoměrná nebo místní povrchová vrstva závislá na druhu základního materiálu. Nejúčinnější ochranou před touto korozí je aplikace organického povlaku pomocí nátěrových hmot.

## **Korozní praskání**

Vznik trhlin a lomů způsobuje společné působení korozního prostředí a mechanického namáhání představující vnější a zejména vnitřní tahové pnutí, jako tah, smyk nebo krut. Vznik lomu je dále ovlivněn mírou chemického složení korozního prostředí. Vznikem transkrystalových i mezikrystalových trhlinek se projevuje praskání, z kterého vzniká křehký lom.

## **Korozní únava**

Vyskytuje se za cyklického namáhání v korozním prostředí. Při tomto zatížení nastává rozrušení kovů při napětí. Pro rozrušení materiálu platí skutečnost: čím menší je napětí, tím větší musí být počet cyklů. Vliv koroze na pokles meze únavy může být větší, pokud pracuje výrobek v agresivním prostředí. Mez korozní únavy se snižuje v měkké vodě a ještě mnohem více ve slané vodě, v porovnání s mezí únavy na vzduchu.

## **2.5 Koroze pod organickými povlaky**

Problematika antikorozní ochrany kovových materiálů přináší spojení řešení náchylnosti kovů ke korozi s povrchovou ochranou organickými povlaky. Pro nátěrový systém je důležité, aby vytvořil účinnou ochranu před vodou, ionty a prostupem kyslíku. U celé řady kovů byly zkoumány korozní procesy za různých podmínek bez ohledu na jejich povrchovou úpravu a rovněž nátěrové povlaky prošly celou řadou výzkumů týkajících se vhodného složení plniv, pigmentů, inhibitorů koroze a kombinací chemických a fyzikálních vlastností jednotlivých složek. Problémem může být ovšem i průběh koroze probíhající ne na nechráněném kovu, ale na materiálu opatřeném ochranou vrstvou nátěrového povlaku, tedy proces koroze na kovovém podkladu pod nátěrovým filmem. Mezi faktory ovlivňující průběh koroze patří například působení relativní vlhkosti vzduchu na film, působení teploty při sušení, druh inhibitoru koroze nebo druh předběžné úpravy povrchu kovového materiálu.

## 2.6 Vytváření puchýřků

Jednou z prvních známek špatné ochranné funkce povlaku je tvorba puchýřků pod nátěrovým filmem na samotném kovovém podkladu. V této lokální oblasti ztratil povlak adhezi ke kovovému podkladu, následně se v tomto místě hromadí voda a začínají probíhat korozní pochody. Rozpoznáváme několik možných mechanismů vzniku puchýřků na povlaku:

### **Osmotická tvorba puchýřků**

Hlavní příčinou pro vznik osmotických puchýřků je přítomnost rozpustné soli na fázovém rozhraní povlak – podklad. Tato rozpustná sůl může být přítomna na povrchu kovu již před samotnou aplikací povlaku, nebo může být rovněž jednou ze složek nátěrové hmoty (plniva s vyšší rozpustností a pigmenty). Při difúzi vody filmem ve směru z povrchu k podkladovému kovu vznikají kondenzované roztoky s dostatečnou osmotickou silou k transportu vody z povrchu filmu do povlaku. Tento mechanismus představuje s největší možnou pravděpodobností nejčastější příčinu vzniku puchýřků.

### **Vytváření puchýřků objemovou expanzí vzniklou bobtnáním**

Všechny organické povlaky obsahují vodu v množství kolem 3 %. Pokud dojde k bobtnání v lokálním místě, mohou se v těchto místech vytvořit puchýřky a na rozhraní kov – povlak se hromadí vodná fáze.

### **Tvorba puchýřků vlivem separací fází při vytváření filmu**

Jiný typ osmotické tvorby puchýřků může vzniknout pokud nátěrové hmoty obsahují směs více rozpouštědel, z nichž pomaleji se odpařující rozpouštědlo je v nízké koncentraci a je hydrofilní povahy. Za těchto podmínek jeho odtékání proběhne již z pevného filmu a rozpouštědlo za sebou zanechá dutiny, které jsou zdrojem puchýřků.

Mechanismus koroze v oblastech vytváření puchýřků spočívá v působení lokálně se hromadící vody na rozhraní povlak – podklad. Současně jsou vymývány ionty vodou ze samotného povrchu podkladového kovu a rovněž ze samotného ochranného filmu.

## 2.7 Blesková koroze

Vyskytuje se převážně ve vodou ředitelných nátěrových hmotách a představuje závažný problém. Výskyt defektu tohoto typu je v případě, kdy byl nátěrový film při svém zasychání vystaven vysoké relativní vlhkosti. Tento druh koroze se převážně vyskytuje na

takových podkladových materiálech, které prošly kvalitní předúpravou tryskáním, na rozdíl od kovových podkladů, u kterých došlo k méně kvalitnímu a účinnému čištění. Anorganické antikorozi pigmenty neposkytují žádnou schopnost zamezení bleskové koroze a velmi účinným prostředkem v boji proti bleskové korozi je použití rozpustných inhibitorů.

## **2.8 Nitková koroze**

Tento druh koroze nastává na kovových materiálech pokrytých nátěrovou hmotou. Vláknina tvořená korozními produkty mají rozmanité tvary, zpočátku jsou tvořena korozními produkty, přibližně kolmá k okrajům defektů a poté se rozrůstají do všech směrů. Šířka vláken se může pohybovat v rozmezí od 0,05 až do 0,5 mm a může narůstat rychlostí až 1 mm za den. Nitková koroze vzniká za současných podmínek trvalé relativní vlhkosti 70-85 % a znečištění podkladového kovu rozpustnými solemi. Při velmi vysoké hodnotě vlhkosti nebo při expozici ve vodním prostředí, přichází nitková koroze na obecnější případ koroze a vláknitý charakter se ztrácí.[10]

## **2.9 Faktory ovlivňující rychlost koroze**

### **2.10 Adheze**

Organický povlak ztrácí svou adhezi vůči základnímu materiálu, pokud dojde k průniku vody přes póry v nátěrovém filmu. Ta společně s rozpuštěným kyslíkem je v přímém spojení se základním kovem a začíná proces koroze. Korozní zplodiny a voda vytváří tlak na své okolí a dochází ke ztrátě přilnavosti vlivem tvorby puchýřků. K tomu, aby nedocházelo k narušení přilnavosti, je potřeba kvalitní předúpravy povrchu základního materiálu. Základem je odstranění organických nečistot, soli a korozních zplodin. Ke zkvalitnění přilnavosti dále slouží vytvoření konverzních vrstev na povrchu, jako je fosfatizace.

### **2.11 Permeabilita filmu nátěru**

Permeabilita významně ovlivňuje rychlost koroze kovového podkladu, což odpovídá rychlosti průniku korozního prostředí. Nátěry jsou značně propustné pro vodu a kyslík a dané množství stačí pro probíhání koroze rychlostí obvyklé v atmosférických podmínkách. Agresivní látky pronikají k povrchu substrátu především přes poréznost

filmu. Pohyb látek způsobujících korozi nepigmentovaným filmem závisí na struktuře pojiva (hustota sítě), teplotě a na velikosti a koncentraci difundujících látek. Pro dobrou funkci nátěrového systému opět vyplývá podmínka dostatečné přilnavosti.

### **3. Současná rizika v technologii povrchových úprav**

Při řešení otázek spojených s korozí při výrobní činnosti a následném uplynutí určitého časového období na hotových výrobních produktech, v tomto případě tramvají rozličných provedení vrchních nátěrů, se vracíme ve většině případů k úpravě povrchu základního materiálu před nanášením nátěrového systému. Je to závažný problém, kterým je zapotřebí se zabývat. Při zdokonalení a správné specifikaci technologického postupu úpravy základního materiálu je možnost vzniku korozního napadení snížena na minimální hodnoty.

Jeden z problémů v současné výrobní technologii může mít za následek nedostatečné odmaštění hrubé stavby tramvaje. Tato ocelová konstrukce je vystavena během svého vzniku celé řadě různých působících látek, nečistot, ocelového prachu a mastnoty. Nedostatečné odmaštění všech částí, zákoutí, dutin a ohybů je jedna z prvotních příčin vedoucích k špatné přilnavosti nátěrového systému se základním materiálem. Nedostatečná přilnavost vede k podkorodování a tvorbě puchýřků.

Další možnost nesprávně provedené technologie je spojena s otryskáváním ocelové konstrukce tramvaje. Pro správné dodržování technologie protikorozní ochrany u tryskaných ocelových materiálů platí, že tryskaný produkt musí být do určitého časového období ošetřen ochranným povlakem. Tento časový interval je rovněž závislý na okolních teplotních vlivech a relativní vlhkosti prostředí. Povrch dosahuje drsnosti až 40 mikronů. V tomto stavu má vysokou reaktivitu s okolním prostředím a je velice náchylný na vznik oxidických filmů.

#### **3.1 Návrh technologie povrchové úpravy**

Zásadní problém je v rozmístění jednotlivých pracovišť tryskacího a stříkacího boxu. Tato dvě pracoviště na sebe přímo nenavazují a po tryskání je konstrukce tramvaje vystavena nebezpečnému atmosférickému prostředí. Za pomoci přesuvny, která není chráněna střechou a bočními stěnami, je tramvaj převezena do stříkacího boxu. Následně po přesunu je možno provést ochranu tryskaných ploch základní barvou. S ohledem na možnost působení atmosférických vlivů na samotnou konstrukci během přesunu, jako je déšť, sníh nebo pouhá vlhkost, je tento přesun pro možnost vzniku korozního napadení velmi rizikový. Jediná správná volba pro odbourání tohoto problému je vytvoření pásového způsobu výrobní činnosti, kdy na tryskací box navazuje stříkací a výrobní produkty

neopouštějí jednu halu. Tímto způsobem je možno spolehlivě zajistit a udržet stejnou relativní vlhkost prostředí a to maximálně 80 % a teplotu tryskané kostry skříně nejméně 3 °C nad rosným bodem. Za těchto podmínek je dokonce možné prodloužit dobu pro otryskávání a aplikaci základní barvy ze čtyř hodin až na deset hodin.

Do systému zajišťování protikoroze ochrany u přípravy základního materiálu jednoznačně patří rovněž striktní dodržování daných technologických postupů vypracovaných na jednotlivé dílčí operace. Nekvalitně odvedená práce v různých stádiích může podporovat vznik koroze v jejích možných formách.

## 4. Experimentální část

Cílem experimentální části je zjištění vzniku a působení korozního napadení za určitých daných podmínek. Tyto podmínky vycházejí z jednotlivých výrobních podkladů a simulují jednotlivé možné stavy přípravy základního materiálu před aplikací nátěrového systému při daných výrobních činnostech. Simulace znázorňovala různé možnosti nedodržování daných technologických postupů. Jedná se o nedostatečné odmašťování, nedostatečné zdrsňení povrchu a celkové tryskání základního materiálu. Tyto tři varianty byly následně vystaveny působením atmosférického prostředí. Zkouškami chceme zhodnotit velikost ovlivnění působení atmosférického prostředí na tento materiál před nanesením ochranného nátěru. Tyto jednotlivé stavy ve vzájemné kombinaci mohou nastat při skutečném výrobním procesu.

### 4.1 Příprava zkušebních vzorků

Na ocelové panely třídy 11 523.1 (EN 10025-90) o rozměrech 100 x 150 x 1,5 mm byly nanесeny čtyři vytypované a specifikované nátěrové hmoty. Tyto nátěry se ve výrobním procesu používají jako konečná varianta korozní ochrany tramvají pomocí organických povlaků. Každý jednotlivý druh nátěrového systému byl nanесen na šest rozdílných předpovrchových úprav a systematicky označen. Pro odstranění organických nečistot pomocí buničiny u vybraných vzorků bylo provedeno odmaštění slabě alkalickým odmašťovacím přípravkem s inhibátorem koroze vyráběným pod obchodním názvem Star 75 PNP. U vzorků, kde byl povrch plechu mechanicky očištěn a tím zbaven nečistot a zárodků koroze, bylo použito brusného papíru o zrnitosti 120-150. Další zkušební vzorky byly tryskány v tryskacím boxu za pomoci ostrohranné ocelové drtě GH 25 (dle ČSN GA 10) o tvrdosti 800-950 HV. Čistota povrchu provedena dle ČSN ISO 8501-2 na Sa 2,5 (velmi důkladné tryskání). Před nátěrem byly všechny vzorky vystaveny atmosférickým podmínkám, pro simulaci přesunu tramvaje z tryskacího do stříkacího boxu. Samotná aplikace nátěru byla provedena pomocí tlakové stříkací pistole vždy ve dvou fázích. Tloušťka první vrstvy minimálně 60 mikronů. Po dostatečném zaschnutí první vrstvy nátěrového filmu bylo vykonáno měření tloušťky nátěru pomocí digitálního tloušťkoměru na několika místech vzorku. Následně byla nanесena druhá vrstva vrchního finálního nátěru.

Zasychání nátěrového filmu probíhalo za optimálních teplot. Po celkovém zaschnutí nátěrového filmu byly řádně označené vzorky ocelových panelů opatřeny na zadní straně

a na hranách těsnící lepicí páskou, aby korozní prostředí na nátěr nepůsobilo z nežádoucích směrů. V dolní polovině vzorků byl proveden zkušební řez v délce 80mm, který zasahoval až na podkladový kov. Tím byly panely připraveny pro korozní zkoušky v solné komoře. Pro tuto zkoušku bylo připraveno celkem 24 vzorků ve čtyřech modifikacích vrchních nátěrů a šesti variantách úpravy základního materiálu před nanesením nátěru.

Pro stanovení adheze byl připraven stejný počet vzorků ve stejných provedeníh.

**Tabulka 4.1** Číslování jednotlivých vzorků

	Bez otryskání neodmaštěno	Bez otryskání odmaštěno	Brusný papír neodmaštěno	Brusný papír odmaštěno	Otryskáno neodmaštěno	Otryskáno odmaštěno
První modifikace	1/10	2/10	3/10	4/10	5/10	6/10
Druhá modifikace	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10
Třetí modifikace	13/10	14/10	15/10	16/10	17/10	18/10
Čtvrtá modifikace	19/10	20/10	21/10	22/10	23/10	24/10

## 4.2 Specifikace přípravy základního materiálu před aplikací nátěrem

Použité nátěrové hmoty

### Specifikace první testované modifikace

Jednovrstvá vodou ředitelná dvousložková epoxidová barva weco-FAN-EP-2K barva s vysokým obsahem zinku matná

Identifikace 42601013939

Výrobce WECKERLE



weco-FAN-EP-Härter tužidlo

identifikace 40960660000

výrobce WECKERLE

Jednosložkový vodou ředitelný akrylát weco-FAN- jednovrstvý RAL 7022

Identifikace 41101880722

výrobce WECKERLE

### **Specifikace druhé testované modifikace**

Jednovrstvá epoxidová dvousložková barva weco-POX-2K-Grundierung  
jednovrstvá barva RAL 1002 matná

Identifikace 14601130102

výrobce WECKERLE

weco-POX-Harter tužidlo

identifikace 14940260000

výrobce WECKERLE

weco-POX-Verdunnung ředidlo

identifikace 10000000069

výrobce WECKERLE

Alkid email S 2013 D SYNEX DEKOR báze B3 syntetický lesklý

Identifikace S 2013

výrobce CHEMOLAK Smolenice

S 6001 ředidlo do syntetických hmot

Identifikace S 6001

výrobce Hekra Opava s.r.o.

**Specifikace třetí testované modifikace**

Jednovrstvá epoxidová dvousložková barva weco-POX-2K-Grundierung  
jednovrstvá barva RAL 1002 matná

Identifikace 14601130102

výrobce WECKERLE

weco-POX-Harter tužidlo

identifikace 14940260000

výrobce WECKERLE

weco-POX-Verdunnung ředidlo

identifikace 10000000069

výrobce WECKERLE

Rozpouštědlový akryl uretan weco-PUR-2K-HS-email RAL7035 lesklý

Identifikace 17533020716

výrobce WECKERLE

weco-tužidlo

identifikace 10400001569

výrobce WECKERLE

weco-PUR-Verdunnung ředidlo

identifikace 10000000021

výrobce WECKERLE

**Specifikace čtvrté testované modifikace**

Jednovrstvá epoxidová dvousložková barva weco-POX-2K-Grundierung  
jednovrstvá barva RAL 1002 matná

Identifikace 14601130102

výrobce WECKERLE

weco-POX-Harter tužidlo

identifikace 14940260000

výrobce WECKERLE

weco-POX-Verdunnung ředidlo

identifikace 10000000069

výrobce WECKERLE

Dvousložkový akryl uretan vysokosušinnový Standofix 2K-HS-Compacklack  
RAL 9007 vrchní lak - metalíza

Identifikace 02002601

výrobce STANDOX

Standex Verdünnung MSB 15-25 ředidlo

Identifikace 02082489

výrobce STANDOX

### Akryl uretan Standofleet 2K MS Klarlack čirý vrchní lak

Identifikace	02095138
výrobce	STANDOX

### Standofleet 2K MS Härter tužidlo

Identifikace	02095218
výrobce	STANDOX

### Standofleet 2K Verdünnung ředidlo

Identifikace	02095313
výrobce	STANDOX

### **Ostatní použité látky**

### Star 75 PNP slabě alkalický odmašťovací přípravek s inhibítozem koroze

Identifikace	Star 75 PNP
výrobce	Everstar, s.r.o.

## **4.3 Příprava nátěrových hmot**

Pro přípravu první testované modifikace vzorku byla použita vodou ředitelná základní barva weco-FAN-EP-2K s vysokým obsahem zinku. Tato barva je specifikována pro nátěr kovových povrchů a před samotným nanášením se tuží s weco tužidlem v poměru 4:1 váhových dílů. Doba zpracovatelnosti natužené směsi je 4 hodiny. Na základní nátěr je aplikována vrchní vodou ředitelná barva weco– FAN RAL 7022.

Na druhou modifikaci nátěru byla použita základní epoxidová dvousložková barva weco-POX-2K-Grundierung RAL 1002 matná ve směsi s tužidlem weco-POX-Harter.

Poměr tužení je 5:1 váhových dílů. Doba zpracovatelnosti dané směsi je 8 hodin. Vrchní nátěr je tvořen syntetickým emailem S 2013.

Třetí modifikace nátěru má stejnou základovou barvu jako druhá modifikace a vrchní nátěr je použita barva weco-PUR-2K-HS-email RAL 7035 ve směsi s weco tužidlem v poměru 8:1 váhových dílů. Zpracovatelnost natužené směsi je 4 hodiny.

Pro přípravu poslední čtvrté modifikace nátěru byl opět použit stejný základní nátěr barvou weco-POX-2K-Grundierung RAL 1002 ve směsi s tužidlem weco-POX-Harter. Tentokrát je nátěr tvořen vrchním lakem Standofix 2K-HS-Compacklack RAL 9007. Na tento vrchní lak se nanáší ještě jednosložkový čirý vrchní lak Standofleet 2K MS Klarlack, který se používá s tužidlem Standofleet 2K MS Härter v poměru tužení 2:1 objemových jednotek.

Doba zpracovatelnosti natužené směsi činí tentokrát pouze 2 hodiny.

#### **4.4 Použité přístroje a vybavení**

Plošinová váha SOEHNLE řady 2880 s indikátorem S 30 provedení EX (Německo), digitální měřicí přístroj tloušťky povlaku PHYNIX verze FN 2.2 (Německo), vysokotlaká stříkáč pistol K 90 (ČR), řezací nůž pro stanovení přilnavosti fy Byk Gardner, stříkáč box CALATEK (ČR), korozní komora se solnou mlhou, Bauneihe SKB 400 A-TR, Německo.

#### **4.5 Metodika experimentálních prací**

##### **4.5.1 Stanovení adheze, stupně přilnavosti nátěru mřížkovou metodou**

Stanovení bylo prováděno dle ČSN ISO 2409. Na ocelové panely se speciálním nožem s břity rozestupu 2 mm vyřízly na sebe kolmé řezy, tvořící mřížku. Podle specifikace nátěru v místě překřížení drážek a srovnáním s danou předlohou byly vytvořené mřížky hodnoceny stupnicí 0 až 5 na základě standardů.

Stupeň 0: Okraje mřížky jsou hladké, žádná část mřížky nejeví stopy odlupování.

Stupeň 1: Okraje jeví nepatrné poškození v místech, kde se drážky protínají. Poškozená plocha nepřesahuje 5 %.

Stupeň 2: Nátěr je nepatrně poškozen podél řezu a při jejich křížení. Povrch mřížky může být poškozen o více než 5 % a méně než 15 % plochy.

Stupeň 3: Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran, částečně nebo celý na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15%, ale menší než 35 % celkové plochy.

Stupeň 4: Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Celková plocha poškození je mezi 35 % až 65 %.

Stupeň 5: Větší poškození než u stupně 4

#### **4.5.2 Stanovení tloušťky nátěrů**

Tloušťky nátěru na jednotlivých zkušebních panelech v zaschlém stavu byla změřeny na několika místech pomocí digitálního měřicího přístroje tloušťky povlaku PHYNIX version FN 2.2 Měření bylo provedeno u každého jednotlivého vzorku třikrát a hodnoty byly zprůměrnovány.

#### **4.5.3 Korozní zkoušky nátěrových hmot**

Urychlené korozní zkoušky jsou založeny na expozici zkušebních vzorků v uměle vytvořených přírodních podmínkách, které mohou působit na nátěrový film a chráněný kov a napomáhají odhalovat jejich nedostatky a možný rozsah koroze povrchově upraveného podkladu. Na základě urychlených korozních zkoušek je výhodou možnost srovnávání kvality jednotlivých nátěrových systémů mezi sebou. Tyto zkoušky však zajišťují působení několika možných faktorů, zatímco v reálných podmínkách při atmosférickém působení jsou korozní děje ovlivňovány množstvím dalších ne vždy předvídatelných faktorů.

##### **4.5.3.1 Zkouška za přítomnosti solné mlhy**

Samotná zkouška byla provedena podle normy ČSN ISO 9227. Zkouška představuje kombinaci kondenzace vody a elektrolytu, což v tomto případě představuje 5% roztok NaCl. Při teplotě 35 °C. Zkušební komora pracuje v 12hodinovém cyklu. Kondenzace solné mlhy působí 6 hodin, následují 4 hodiny kondenzace destilované vody a 2 hodiny

osychání při okolní teplotě 23 °C. Vzorky nátěrových filmů byly vyhodnocovány po 720 hodinách expozice.

#### **4.5.3.2 Metody hodnocení koroze při zkouškách v umělých atmosférách**

Při vyhodnocování korozních projevů po expozici danými korozními zkouškami bylo postupováno podle subjektivních metod, které jsou dány na porovnávání podle předloh daných standardů ASTM.

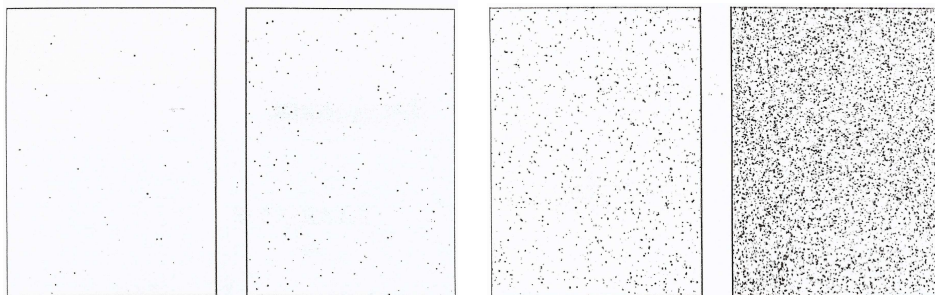
Po skončení aplikace simulace působení přírodních podmínek na vzorky, byly ocelové panely ponechány po dobu 80 hodin v roztoku acetonu a hydroxidu sodného pro usnadnění následného odstranění nátěru z ocelového panelu. Po celkovém odstranění byl povrch odmaštěn a omyt vodou. Takto připravené vzorky byly vizuálně hodnoceny .

#### **4.5.3.3 Metoda pro hodnocení stupně tvorby puchýřků v nátěru**

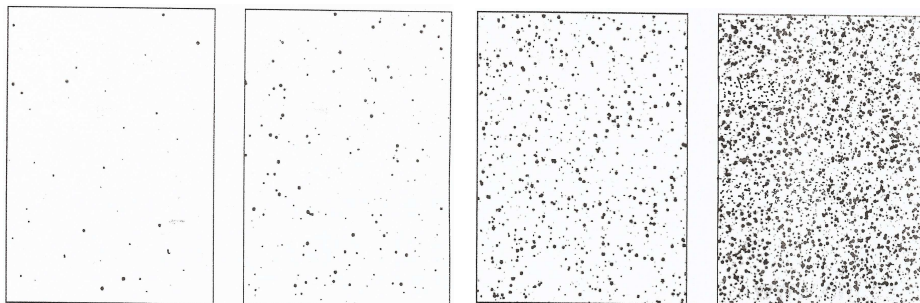
Po ukončení expozice v simulovaných podmínkách byly touto metodou vyhodnocovány dané vzorky. Výsledky byly porovnány s tištěnými obrázkovými vzory, které jsou součástí norem ASTM D 1654-92. Velikost a četnost puchýřků je rozdělena do několika skupin, které jsou klasifikovány čísly 2, 4, 6 a 8. Nejmenší puchýřky představují číslici 8 a největší číslem 2. Dále následuje přidělení písmena k číslu popisující velikost, které určuje četnost puchýřků na vzorku. Písmenu F (few), přináležejí nejmenší hustota puchýřků, vyšší hustota se značí písmenem M (medium), následuje MD (medium dens) a nejvyšší hustotě patří písmeno D (dens). Firmou Heubach byla ve stupnici k tvorbě puchýřků přidělena číselná hodnota (tabulka 4.3).

Obrázkové standardy pro hodnocení množství a velikosti puchýřků v nátěru dle ČSN EN ISO 4628-2

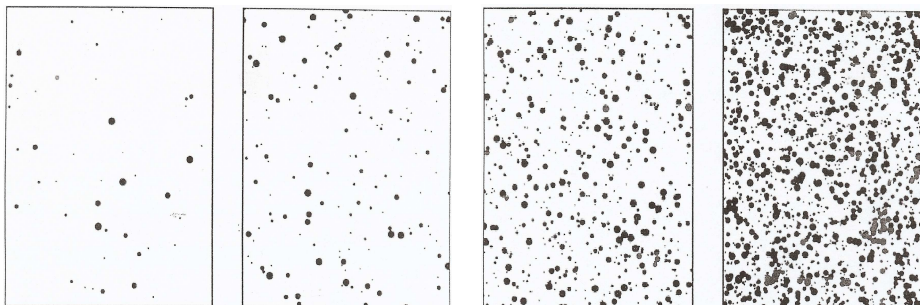
Puchýřky velikosti 2



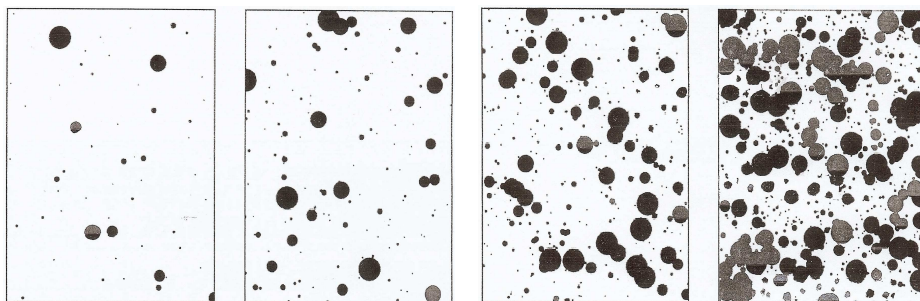
Puchýřky velikosti3



Puchýřky velikosti 4



Puchýřky velikosti5





**Tabulka 4.2** Převodní tabulka hodnocení stupně puchýřkování dle daných kritérií.

ČSN EN ISO 4628-2	ASTM D 714	Heubach
2-2(S2)	8F(Few)	75
3-3(S2)	8M(Medium)	55
4-4(S2)	8MD(Medium Dense)	35
5-5(S2)	8D(Dense)	15
2-2(S3)	6F(Few)	70
3-3(S3)	6M(Medium)	50
4-4(S3)	6MD(Medium Dense)	30
5-5(S3)	6D(Dense)	10
2-2(S4)	4F(Few)	65
3-3(S4)	4M(Medium)	45
4-4(S4)	4MD(Medium Dense)	25
5-5(S4)	4D(Dense)	5
2-2(S5)	2F(Few)	60
3-3(S5)	2M(Medium)	40
4-4(S5)	2MD(Medium Dense)	20
5-5(S5)	2D(Dense)	0

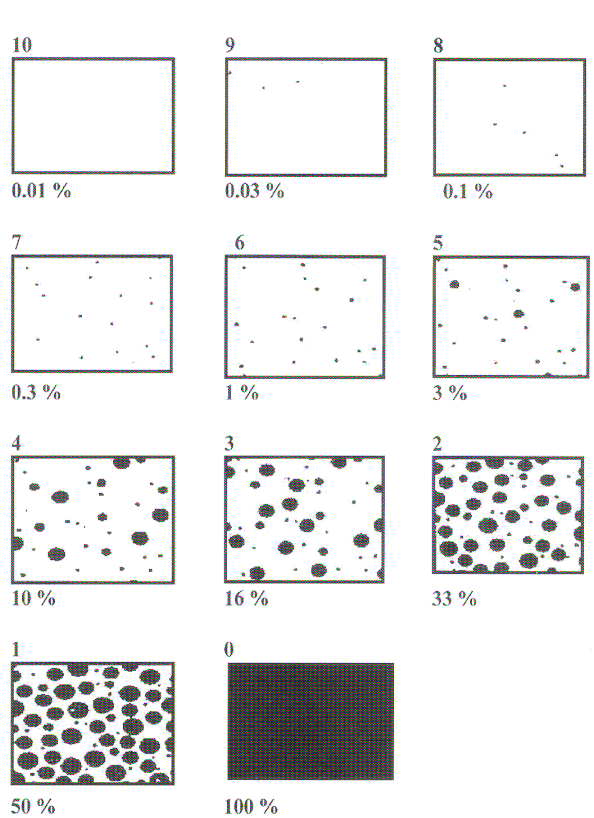
#### 4.5.3.4 Vyhodnocování koroze v řezu

Při této metodě hodnotíme rozsah koroze podél vytvořeného řezu u daného nátěru a rozsah podkorodování. Po vyhodnocení tvorby puchýřků se nátěr celkově odstraní pomocí roztoku acetonu a hydroxidu sodného a následně odmastí a omyl vodou. Tato zkouška nám poodhaluje schopnost ochrany organického povlaku proti šíření koroze pod samotným nátěrem od místa poškození dále po povrchu základního materiálu. Hodnotíme vzdálenost, kterou koroze postoupí od poškození, v našem případě řezu. Určené vzdálenosti jsou uvedené v (mm) a ve stupnici jim přináleží číselná hodnota ( tabulka 4.3).

#### 4.5.3.5 Metoda pro vyhodnocování stupně koroze v ploše podkladu

Danou metodou vyhodnocujeme rozsah koroze v ploše pod nátěrem. Získané poznatky byly opět subjektivně porovnány se standardy, které představují obrázkovou předlohu s různými stupni koroze na podkladovém materiálu uvedené v procentech plochy. Hodnocení se určuje od 1 do 10 kde každé číslo udává určité procento zkorodované plochy (obrázek 4.1) Číslo 1 určuje 50% korozi a poslední číslo 10 určuje nulovou neboli žádnou

korozí podkladového materiálu. Každému údaji byla přiřazena příslušná číselná hodnota (tabulka 4.3).



Obr. 4.1. Předloha k posouzení stupně koroze v podkladu podle ASTM D 610-85

#### 4.5.3.6 Celkové hodnocení korozních zkoušek

Celkovou antikorozi účinnost nátěrového systému vyjádřenou v % dostaneme z vyhodnocení výsledků jednotlivých kombinací dle německé metody Heubach. Celková antikorozi účinnost A pro korozní zkoušky v komoře se solnou mlhou je

$$A = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3}$$

A .....celková antikorozi účinnost

A<sub>1</sub> .....číselná hodnota popisující stupeň puchýřů v podkladu

A<sub>2</sub> .....hodnota popisující stupeň koroze v řezu

A<sub>3</sub> .....hodnota popisující průměrné selhání v podkladu

**Tabulka 4.3** Systém hodnocení dle norem ASTM

Stupeň puchýřovatění nátěrového filmu		Průměrné selhání řezu (mm)		Korozní změny kovového podklad (%)		Antikorozní účinnost
ASTM	Heubach	ASTM	Heubach	ASTM	Heubach	
-	100	0	100	0,01	100	100
-	-	-	-	0,03	-	-
-	95	-	95	0,1	95	95
-	90	0,0-0,5	90	0,3	90	90
-	85	-	85	-	85	85
-	80	0,5-1,0	80	1	80	80
8F	75	-	75	-	75	75
6F	70	1,0-2,0	70	3	70	70
4F	65	-	65	-	65	65
2F	60	2,0-3,0	60	10	60	60
8M	55	-	55	-	55	55
6M	50	3,0-5,0	50	-	50	50
4M	45	-	45	-	45	45
2M	40	5,0-7,0	40	16	40	40
8MD	35	-	35	-	35	35
6MD	30	7,0-10	30	-	30	30
4MD	25	-	25	-	25	25
2MD	20	10,0-13,0	20	33	20	20
8D	15	-	15	-	15	15
6D	10	13,0-16,0	10	50	10	10
4D	5	-	5	-	5	5
2D	0	16,0	0	100	0	0

## 5. Vyhodnocení výsledků a jejich diskuze

Experimentální část nám má ukázat jednotlivé následky působení korozního napadení za daných specifických podmínek, které simulují jednotlivé stavy podkladového materiálu s následným vystavením atmosférických podmínek před samotným nanesením organického nátěrového systému. Byly použity celkem čtyři druhy nátěru simulující nejpoužívanější nátěry na samotných tramvajových konstrukcích.

### 5.1 Vyhodnocení vlastnosti povlaků na základě mechanických zkoušek

#### 5.2 Tloušťka nátěrových filmů

Hodnoty tloušťky jednotlivých nátěrových filmů na vzorcích byly získány jako aritmetické průměry ze čtyř naměřených hodnot. Jsou uvedeny v tabulkách 5.1, 5.2, 5.3 a 5.4.

### 5.3 Vyhodnocení stupně přilnavosti nátěru mřížkovou metodou

Hodnocení přilnavosti nátěru na ocelových panelech bylo prováděno pomocí speciálního řezacího nože. Hodnoty přilnavosti jednotlivých nátěrových hmot jsou uvedeny v tabulkách 5.1, 5.2, 5.3 a 5.4.

**Tabulka 5.1** mřížková zkouška přilnavosti – první modifikace

Druh povrchové úpravy	Tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]	Klasifikace přilnavosti
Bez úpravy neodmaštěno	153,2	4
Bez úpravy odmaštěno	138,0	4
Brusný papír, neodmaštěno	133,4	3
Brusný papír, odmaštěno	116,5	1
Otryskáno, neodmaštěno	134,8	1
Otryskáno, odmaštěno	135,2	1

**Tabulka 5.2** mřížková zkouška přilnavosti – druhá modifikace

<b>Druh povrchové úpravy</b>	<b>Tloušťka [μm]</b>	<b>Klasifikace přilnavosti</b>
Bez úpravy neodmaštěno	130,4	4
Bez úpravy odmaštěno	112,3	3
Brusný papír, neodmaštěno	135,5	2
Brusný papír, odmaštěno	132,1	1
Otryskáno, neodmaštěno	113,5	1
Otryskáno, odmaštěno	110,2	1

**Tabulka 5.3** mřížková zkouška přilnavosti – třetí modifikace

<b>Druh povrchové úpravy</b>	<b>Tloušťka [μm]</b>	<b>Klasifikace přilnavosti</b>
Bez úpravy neodmaštěno	152,1	4
Bez úpravy odmaštěno	147,3	4
Brusný papír, neodmaštěno	135,3	4
Brusný papír, odmaštěno	151,1	3
Otryskáno, neodmaštěno	140,5	1
Otryskáno, odmaštěno	138,7	1

**Tabulka 5.4** mřížková zkouška přilnavosti – čtvrtá modifikace

<b>Druh povrchové úpravy</b>	<b>Tloušťka [μm]</b>	<b>Klasifikace přilnavosti</b>
Bez úpravy neodmaštěno	150,1	4
Bez úpravy odmaštěno	112,9	3
Brusný papír, neodmaštěno	145,1	1
Brusný papír, odmaštěno	150,8	1
Otryskáno, neodmaštěno	143,1	0
Otryskáno, odmaštěno	113,2	0

## **5.4 Vyhodnocení korozní zkoušky v komoře se solnou mlhou**

Ocelové panely byly vystaveny po dobu 720 hodin v komoře se solnou mlhou. Na jednotlivých systémech nátěrových hmot byly hodnoceny vlastnosti zaschnutého nátěrového filmu. Na vzorcích byly postupně prováděny jednotlivé zkoušky degradace nátěru.

## **5.5 Vizualní vyhodnocení vzorků v průběhu zkoušky solnou mlhou**

V průběhu samotné zkoušky, která probíhala po dobu 720 hodin byly jednotlivé vzorky ocelových panelů průběžně vizuálně kontrolovány a dokumentovány.

### **Vizuální hodnocení vzorků v průběhu zkoušky solnou mlhou**

#### **Vzorek č. 1/10**

- po 48 hod. koroze řezu 100%, u řezu podfouklina,
- po 552 hod. u řezu vpravo puchýř velikosti 5x7 mm, vpravo u řezu puchýře velikosti 6x2 mm a 3mm,
- po 672 hod. u řezu vlevo i vpravo puchýře větší.

#### **Vzorek č. 2/10**

- po 48 hod. koroze řezu 100 %,
- po 216 hod. ojedinělé velmi drobné prorezivělé body,
- po 552 hod. 4 puchýře u řezu velikosti do 3 mm,
- po 672 hod. více velmi drobných prorezivělých bodů,
- po 720 hod. beze změny

#### **Vzorek č. 3/10**

- po 48 hod. koroze řezu 100 %,
- po 504 hod. 1 prorezivělý bod,

- po 672 hod. 2 prerezivělé body,
- po 720 hod. stejně.

#### Vzorek č. 4/10

- po 48 hod. koroze řezu 100%, v ploše 2 prerezivělé body, vznik struktury pomerančové kůry,
- po 168 hod. 4 prerezivělé body,
- po 720 hod. 7 prerezivělých bodů, jinak beze změny.

#### Vzorek č. 5/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %,
- po 96 hod. 3 prerezivělé body,
- po 168 hod. prerezavění Ri 1,
- po 720 hod. beze změny.

#### Vzorek č. 6/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, defekty v ploše,
- po 96 hod. 2 prerezivělé body,
- po 216 hod. v dolní polovině vzorku prerezavění Ri 1,
- po 264 hod. prerezavění Ri 1 v celé ploše,
- po 432 hod. 3 praskliny,
- po 720 hod. beze změny.

#### Vzorek č. 7/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v řezu puchýř do průměru 1,5 mm,
- po 216 hod. v ploše začínají vystupovat defekty,
- po 264 hod. v ploše puchýře 2 (S2),

- po 720 hod. viz tabulka č.5.5.

#### Vzorek č. 8/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v řezu drobné puchýře do velikosti 1 mm, v ploše 2 puchýře velikosti do 1 mm,
- po 216 hod. v řezu puchýře velikosti 1 – 4 mm, ostatní jako předtím,
- po 336 hod. puchýře v ploše 2 (S2),
- po 432 hod. nárůst puchýře u řezu na 8 mm, v ploše 5 puchýřů do velikosti 1 mm, v ploše 3 (S2),
- po 504 hod. zvětšení 5 puchýřů na 2 mm, puchýře v ploše 2 (S4),
- po 600 hod. zvětšení puchýřů u řezu na 4 mm, v ploše několik puchýřů do velikosti 2 mm + plocha s puchýři 2 (S2) a 2 (S4),
- po 720 hod. velký puchýř u řezu praskl, ostatní jako předtím.

#### Vzorek č. 9/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v řezu puchýře do velikosti 1,5 mm, v ploše nepatrné defekty,
- po 216 hod. u řezu puchýře velikosti 3, 2 a 1 mm,
- po 264 hod. velikost puchýřů u řezu 4, 3 a 2 mm,
- v ploše puchýře 2 (S2),
- po 504 hod. nový puchýř u řezu 0,5 mm, ostatní puchýře u řezu slité, puchýře v ploše 2 (S4),
- po 720 hod. nárůst puchýře u řezu na 5 mm, ostatní jako předtím.

#### Vzorek č. 10/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %,
- po 96 hod. v horní části řezu drobné puchýře,
- po 264 hod. v celé ploše vzorku puchýře 2 (S2), v horní části řezu puchýře 1 – 2 mm,



- po 552 hod. jako předchozí, puchýře v horní části řezu do průměru 4 mm,
- po 672 hod. v ploše 1 prorezivělý bod, 1 malá prasklinka a 3 defekty,
- po 720 hod. v celé ploše puchýře 4 (S2), ostatní jako předtím.

#### Vzorek č. 11/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v řezu puchýř do velikosti 1 mm, v ploše 2 prorezivělé puchýře (2 mm a 1,5 mm),
- po 96 hod. u řezu stejné, v ploše přibýly prorezivělé body a drobné puchýřky,
- po 168 hod. v horní třetině vzorku dva prorezivělé body a kolem nich kolonie puchýřů velikosti 1 až 1,2 mm, v ploše defekty a okolo řezu drobné puchýře,
- po 216 hod. jako předešlé + v ploše začínají vystupovat drobné puchýře,
- po 264 hod. puchýře v okolí řezu se změnily na korozi řezu, v ploše 2 kolonie puchýřů, u řezu v horní části puchýř,
- po 336 hod. puchýře v koloniích prorezivělé, ostatní jako předtím,
- po 504 hod. puchýře v koloniích prorezivělé, v ploše puchýře 2 (S2)
- po 552 hod. puchýře v koloniích zvětšeny na 3 (S4) – horní třetina,
- po 720 hod. horní třetina prorezivělé puchýře 4 (S3), min. výskyt puchýře 2 (S2).

#### Vzorek č. 12/10

- po 48 hod. koroze řezu 100%, v řezu a okolí z každé strany puchýře do velikosti 1 mm, v ploše puchýře do 1 mm 2 (S2),
- po 96 hod. pravý horný roh prorezivění, ostatní stejné,
- po 168 hod. drobné puchýře v okolí řezu do vzdálenosti 1 až 1,5 cm + puchýře v levém horním rohu,
- po 216 hod. v levém horním rohu kolonie puchýřů o velikosti 2 cm s prorezivělým středem, v ostatní ploše puchýře 3 (S2),
- po 336 hod. puchýře v okolí řezu prorezivělé,
- po 384 hod. nárůst množství puchýřů v ploše na 4 (S2), v okolí řezu velikost 5,5 cm,

v koloniích na 4 cm,

- po 720 hod. viz tabulka č.5.5.

#### Vzorek č. 13/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v řezu puchýř do velikosti 2 mm,
- po 168 hod. puchýře u řezu do vzdálenosti 0,5 cm, v ploše ojediněle puchýřky,
- po 336 hod. puchýř u řezu velikosti 6 mm a 2 mm, puchýře v ploše 2 (S2),
- po 600 hod. puchýře v ploše 3 (S2),
- po 720 hod. puchýř u řezu velikosti 7 mm, puchýře v ploše 3 (S2).

#### Vzorek č. 14/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v okolí řezu do vzdálenosti 0,5 cm puchýře velikosti cca 1 mm,
- po 96 hod. zvětšení puchýřů na 1 – 2 mm,
- po 552 hod. v pravém horním rohu puchýře 2 (S2),
- po 720 hod. hodnocení stejné.

#### Vzorek č. 15/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v řezu 4 puchýře velikosti 1 až 2,5 mm, v ploše 3 prorezivělé body a defekty,
- po 216 hod. puchýře 4 (S2) v horní polovině,
- po 432 hod. v horní dvou třetinách vzorku puchýře 4 (S2) až do 720 hodin.

#### Vzorek č. 16/10

- po 48 hod. koroze řezu 100%, v řezu puchýře velikosti do 2 mm,
- po 168 hod. puchýře v ploše 2 (S2),
- po 720 hod. puchýř u řezu velikosti 4 mm, puchýře v ploše 2 (S5).

#### Vzorek č. 17/10

- po 48 hod. koroze řezu 100%, v řezu puchýře do velikosti 1 mm, v ploše defekty,
- po 216 hod. pravý horní roh počátek puchýřů,
- po 264 hod. pravá polovina a polovina horní části náznak drobných puchýřů,
- po 336 hod. v ploše puchýře 2 (S2),
- po 384 hod. vznik 2 prasklin,
- po 552 hod. puchýře v ploše 4 (S2) až do 720 hodin.

#### Vzorek č. 18/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v ploše 5 prerezivělých bodů, v řezu do vzdálenosti 0,5 cm puchýře do velikosti 1 mm,
- po 168 hod. puchýře u řezu do vzdálenosti 1 cm na každou stranu,
- po 552 hod. v ploše puchýře 2 (S5),
- po 720 hod. viz tabulka č.5.5.

#### Vzorek č. 19/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, u řezu do vzdálenosti 4 mm drobné puchýře, v ploše nepatrné defekty,
- po 168 hod. u řezu puchýř velikosti cca 0,5 cm,
- po 504 hod. 1 cm od horného okraje řezu kolonie puchýřů s průměrem do 1 mm,
- po 552 hod. jako předchozí + puchýře v celé ploše 2 S(2),
- po 672 hod. v levé dolní části kolonie (velikost 1 x 3 cm) puchýřů 2 S(2) ,
- po 720 hod. viz tabulka č.5.5.

#### Vzorek č. 20/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v řezu puchýř velikosti 2 mm, v ploše nepatrné defekty,
- po 216 hod. puchýř u řezu zvětšen na 3 mm,

- po 552 hod. v blízkosti řezu 2 prokorodované místa průměru 4 mm a 2 mm, defekty a puchýře 2 S(2),
- po 720 hod. viz tabulka č.5.5, prokorodované místa u řezu se spojily.

#### Vzorek č. 21/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, u řezu drobné puchýře do velikosti 2 mm, v ploše nepatrné defekty,
- po 196 hod. v celé ploše puchýře 4 S(2), ostatní jako předchozí,
- po 336 hod. puchýře 4 S(2), puchýře v okolí řezu prorostly do prokorodování,
- po 432 hod. jako předchozí + vlevo od řezu podfouklina šířky 2 mm, dlouhá 2 cm,
- po 672 hod. jako předchozí + v okolí řezu podfouklina o šířce 1 mm,
- po 720 hod. viz tabulka č.5.5.

#### Vzorek č. 22/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v řezu drobné puchýře do velikosti 1 mm, v ploše defekty,
- po 96 hod. v dolní třetině vzorku puchýře 2 S(2),
- po 168 hod. v dolní třetině vzorku a v horním levém rohu puchýře 4 S(2), kolem řezu do vzdálenosti 0,5 cm drobné puchýřky,
- po 216 hod. v dolní třetině vzorku puchýře 5 S(2), v horním levém rohu puchýře 4 S(2), kolem řezu do vzdálenosti 0,5 cm drobné, velmi husté puchýřky,
- po 432 hod. jako předešlé, puchýře se vpravo u řezu slévají,
- po 504 hod. v dolní třetině vzorku a v horním levém rohu puchýře 4 S(5), puchýře se vpravo i vlevo u řezu slévají,
- po 600 hod. jako předchozí, střed a ostatní část vzorku puchýře 3 S(5).

#### Vzorek č. 23/10

- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v ploše 7 prerezivělých bodů,

- po 216 hod. v ploše 7 prerezivělých bodů, počátek puchýřů, v okolí řezu puchýře do vzdálenosti 0,5 cm na obě strany,
- po 552 hod. 1/2 plochy puchýře 2 S(2), ostatní jako předchozí,
- po 600 hod. celá plocha puchýře 5 S(2), ostatní jako předchozí,
- po 720 hod. viz tabulka č.5.5.

#### Vzorek č. 24/10

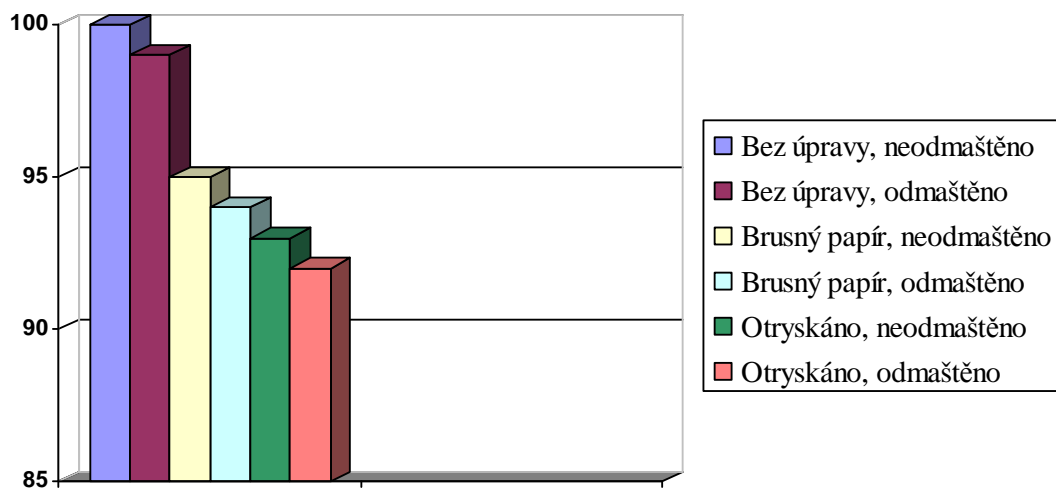
- po 48 hod. koroze řezu 100 %, v řezu a jeho okolí do vzdálenosti 1 cm puchýře do velikosti 1 mm, v ploše 3 prerezivělé body, nepatrné defekty v ploše,
- po 168 hod. kolonie puchýřů vlevo i vpravo a v okolí řezu,
- po 216 hod. v okolí řezu puchýře do vzdálenosti 1,2 cm velikosti do 1 mm,
- po 264 hod. jako předešlé, 4 prerezivělé body,
- po 432 hod. v okolí řezu puchýře do vzdálenosti 1,5 cm 4 S(2),
- po 504 hod. horní třetina vzorku puchýře 3 S(2), okolí řezu jako předtím,
- po 600 hod. horní třetina vzorku puchýře 4 S(2), okolí řezu jako předtím,
- po 720 hod. horní třetina vzorku puchýře 4 S(2), okolí řezu do vzdálenosti 1,5 cm 4 S(3).

## **5.6 Vyhodnocení zkoušky stupně puchýřkování**

Při hodnocení odolnosti ke tvorbě osmotických puchýřů dopadl jako nejlepší vodou ředitelný nátěr weco– FAN- jednovrstvý RAL 7022. Pro srovnání odolnosti k tvorbě puchýřků u jednotlivých druhů nátěrů a současně i rozdílné povrchové úpravě ocelových panelů před nanesením nátěrového filmu jsou zpracovány jednotlivé grafy.

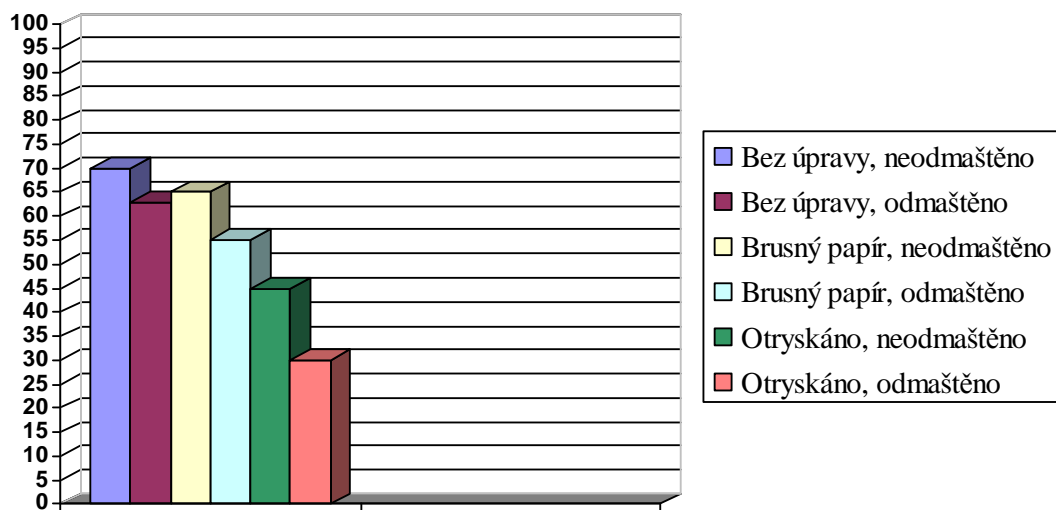
**Graf 5.1**

**Stupeň puchýřování dle Heubacha  
první modifikace**



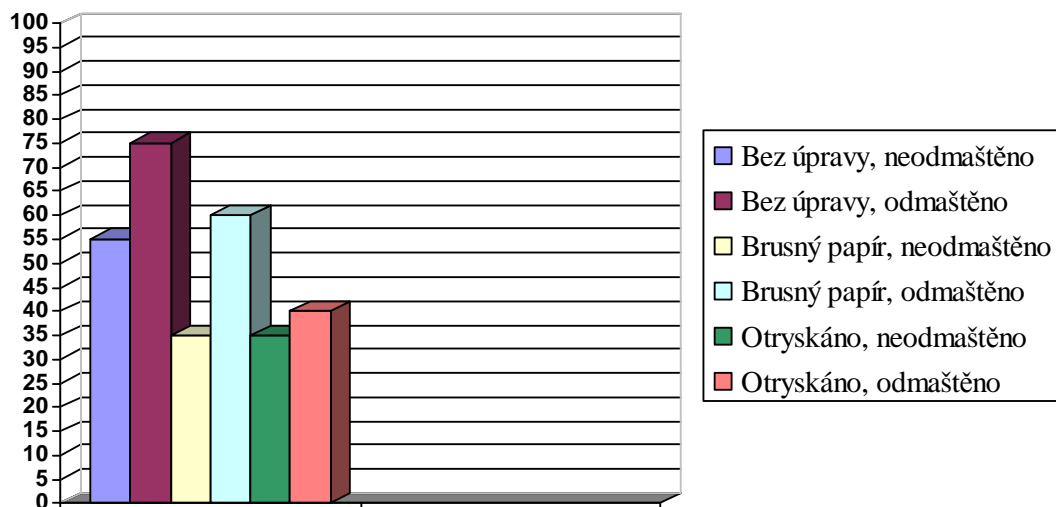
**Graf 5.2**

**Stupeň puchýřování dle Heubacha  
druhá modifikace**



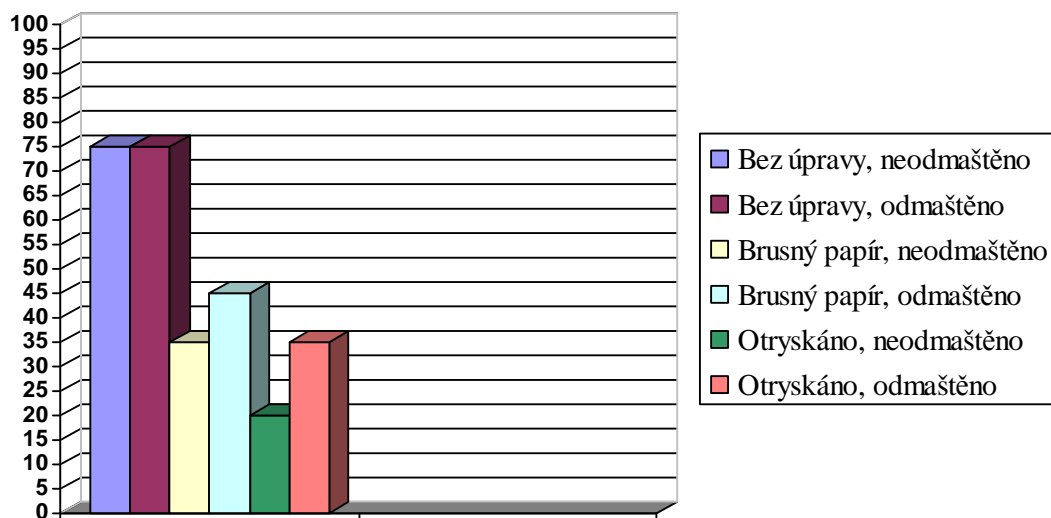
**Graf 5.3**

**Stupeň puchýřování dle Heubacha  
třetí modifikace**



**Graf 5.4**

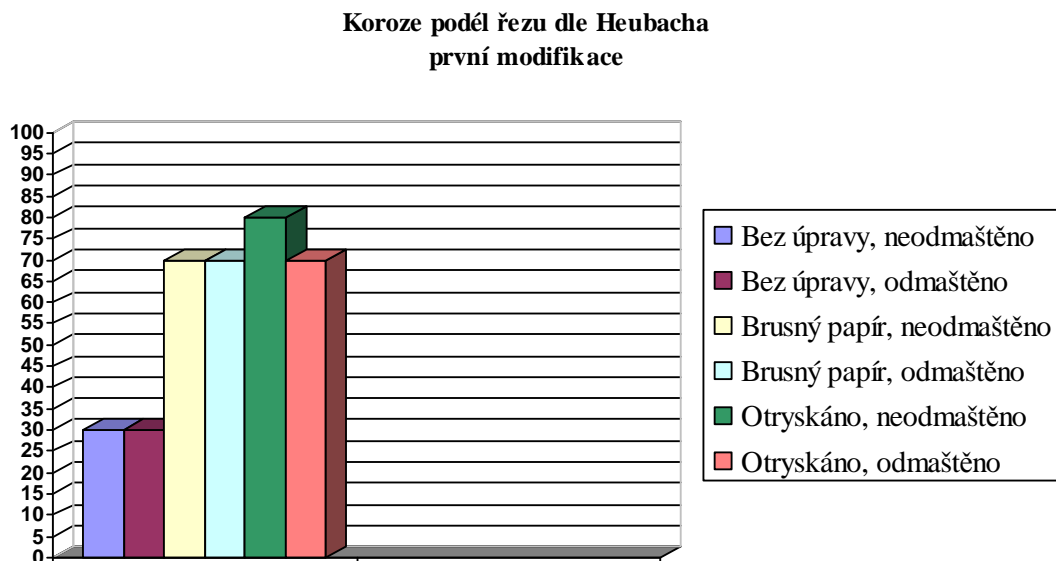
**Stupeň puchýřování dle Heubacha  
čtvrtá modifikace**



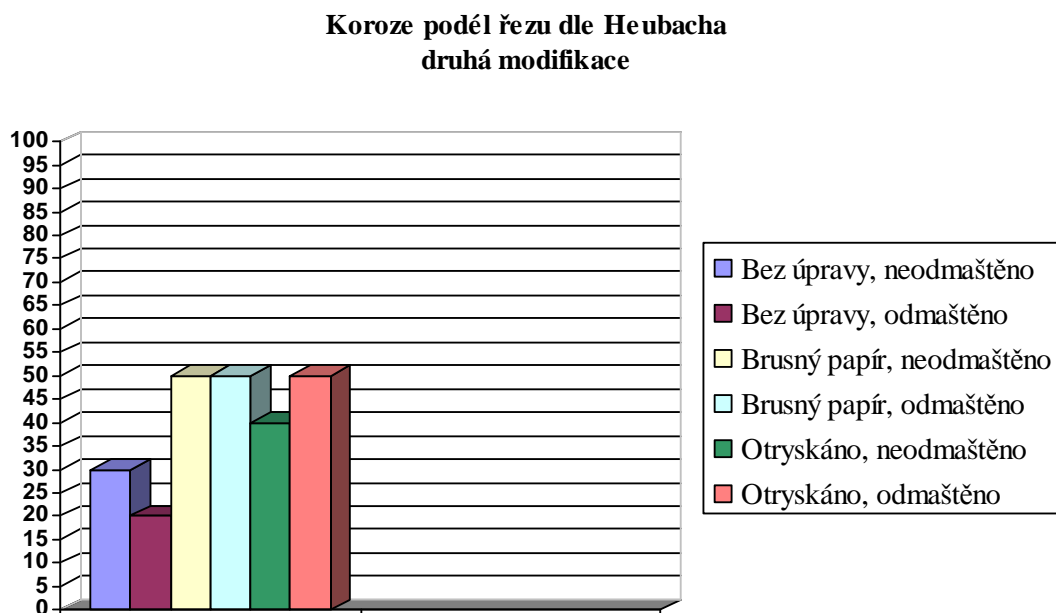
## 5.7 Vyhodnocení zkoušky koroze v řezu

Tato zkouška hodnotí rozsah koroze podél řezu u samotného nátěru a rozsah podkorodování v jeho okolí. Při této zkoušce dopadl nejlépe vodou ředitelný nátěr weco-FAN- jednovrstvý RAL 7022 před druhou modifikací nátěrem.

Graf 5.5

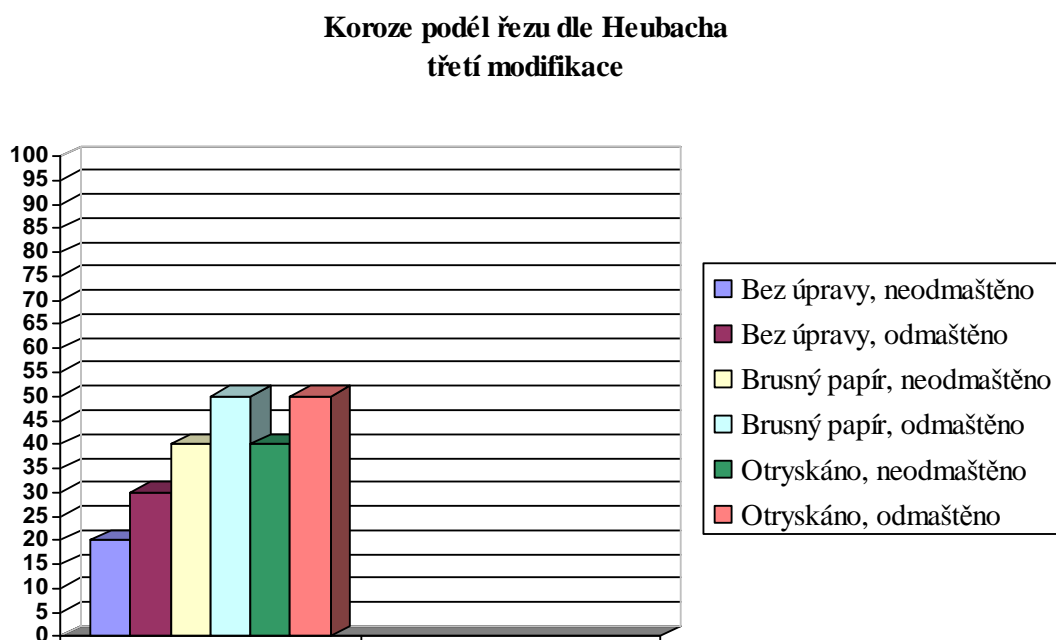


Graf 5.6

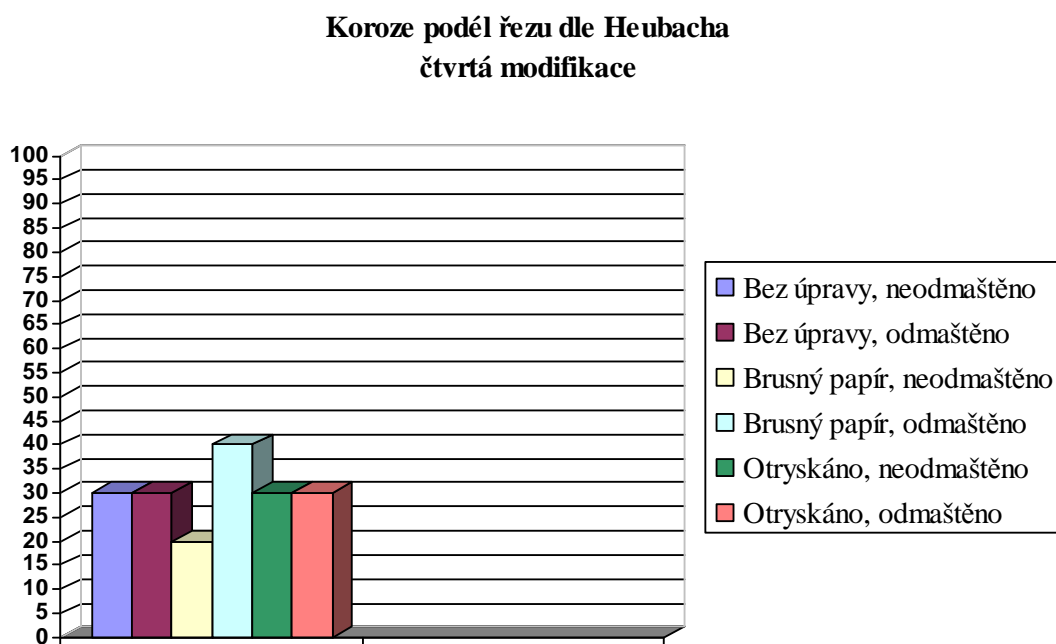




**Graf 5.7**



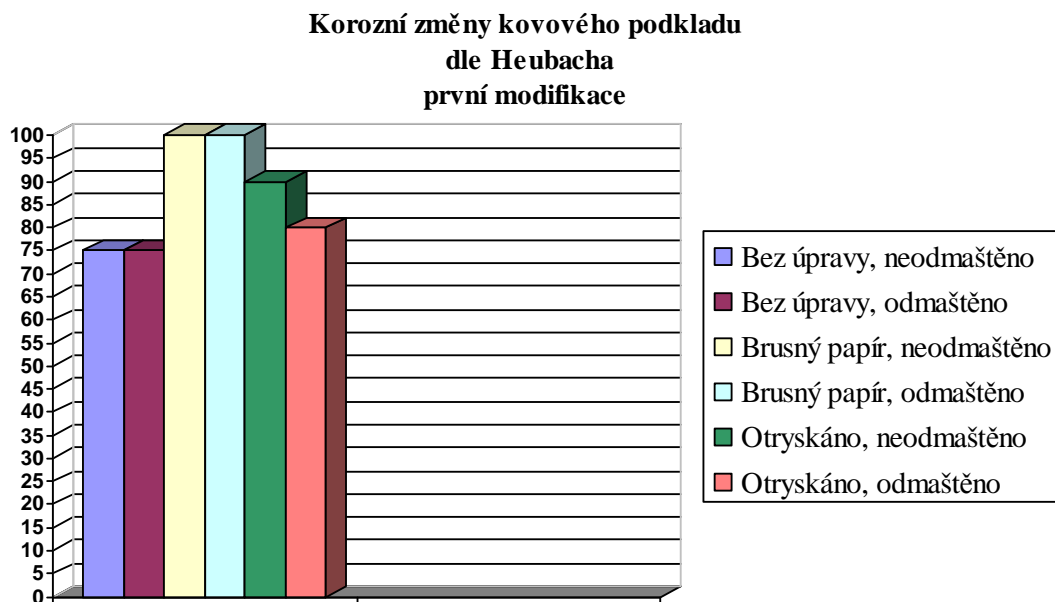
**Graf 5.8**



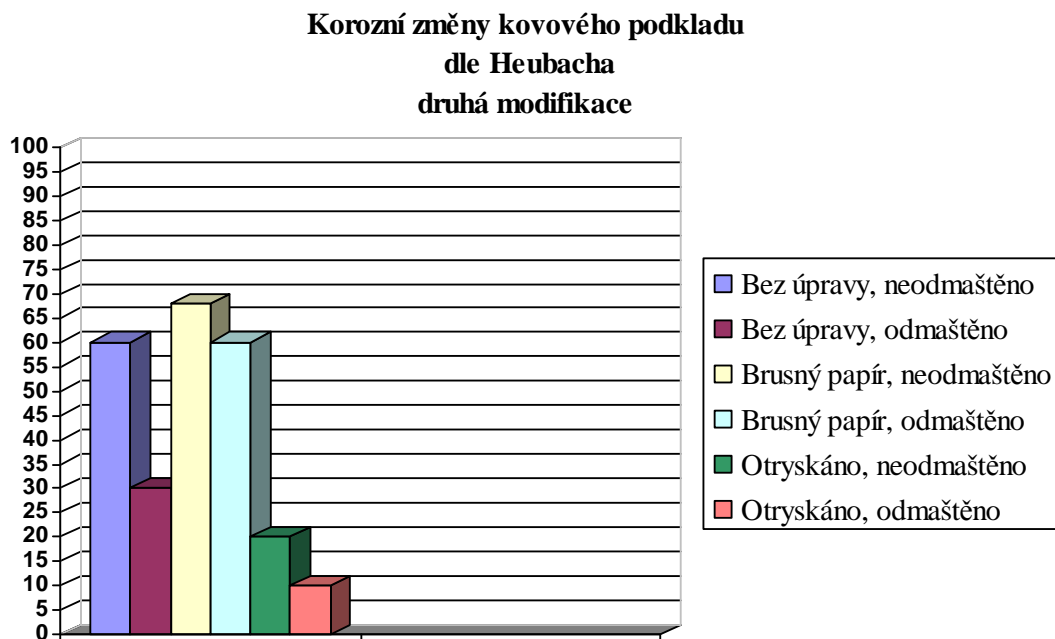
## 5.8 Vyhodnocení zkoušky prorezavění v ploše podkladu

Po důkladném odstranění nátěrového systému ze všech vzorků můžeme přejít k zhodnocení rozsahu koroze v ploše pod nátěrem. Rovněž i tentokrát nejlépe vodou ředitelný nátěr weco– FAN- jednovrstvý RAL 7022 před třetí a druhou modifikací.

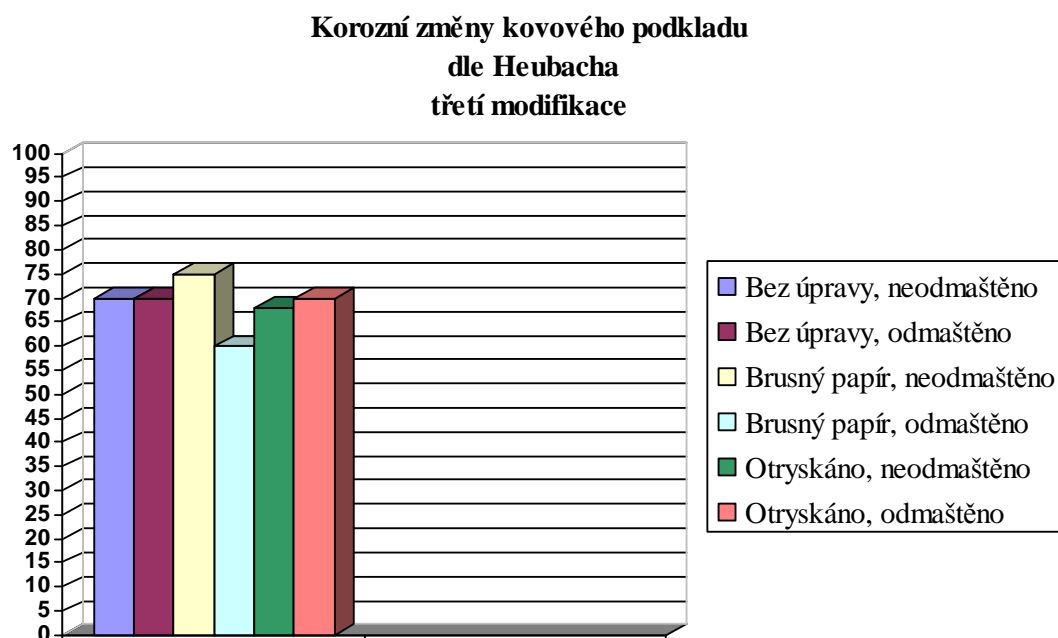
Graf 5.9



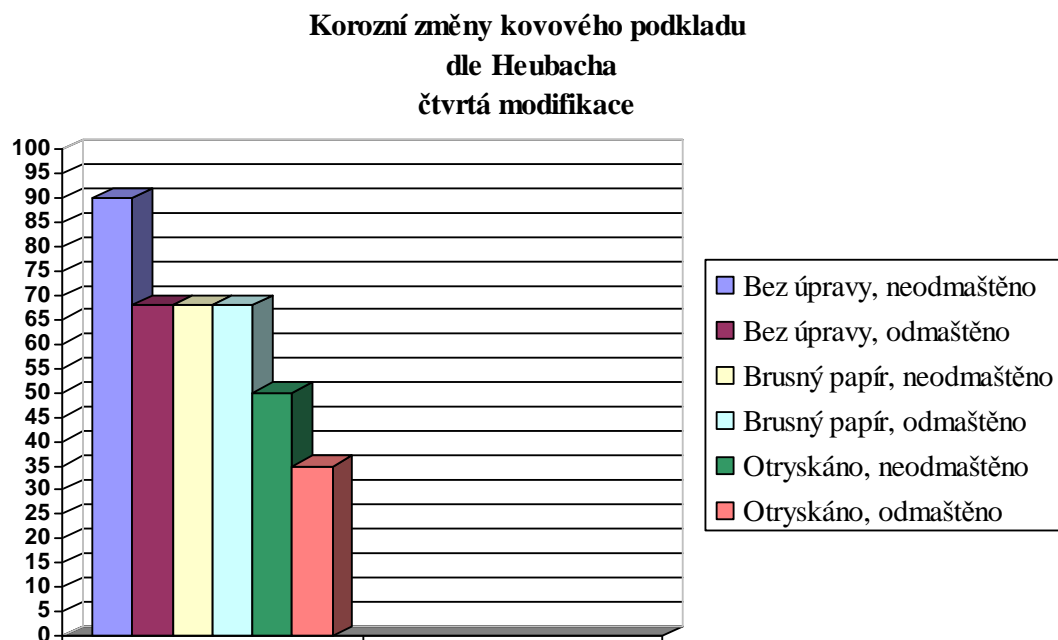
Graf 5.10



Graf 5.11



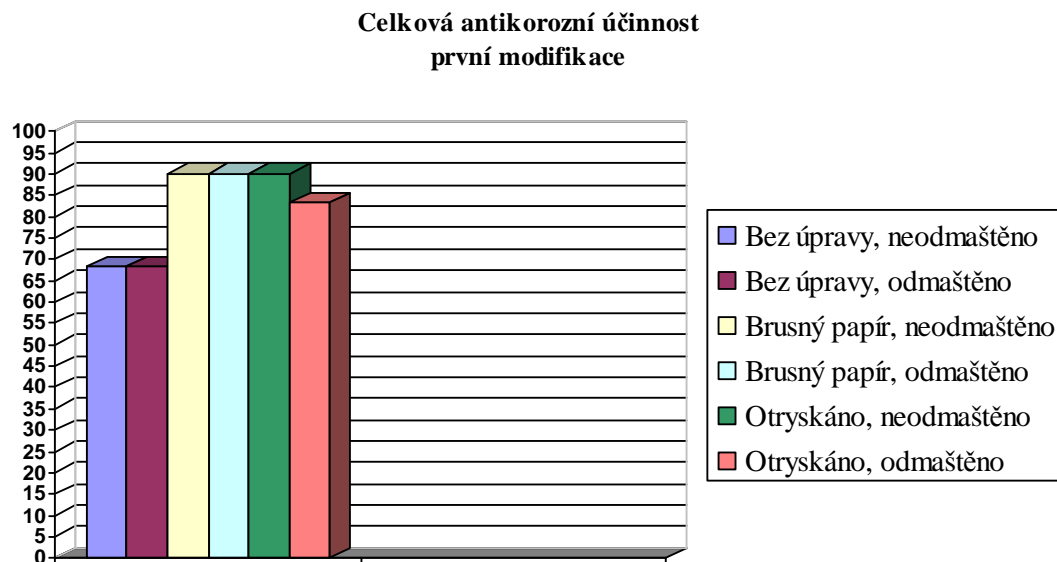
Graf 5.12



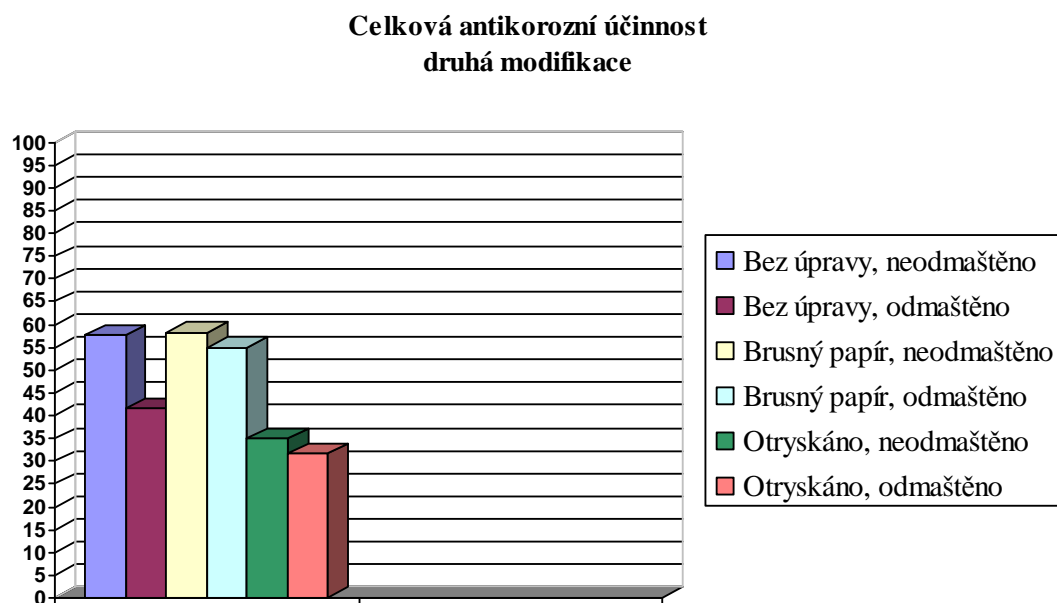
## 5.9 Celkové vyhodnocení korozních zkoušek

Celková antikoroziční účinnost nátěrového systému získáme dle jednotlivých zkoušek vykonaných po působení solné mlhy na jednotlivé vzorky po dobu 720 hodin. Je uvedena v %. Jednotlivé výsledky všech korozních zkoušek pro jednotlivé nátěrové hmoty jsou uvedeny v tabulce 5.5

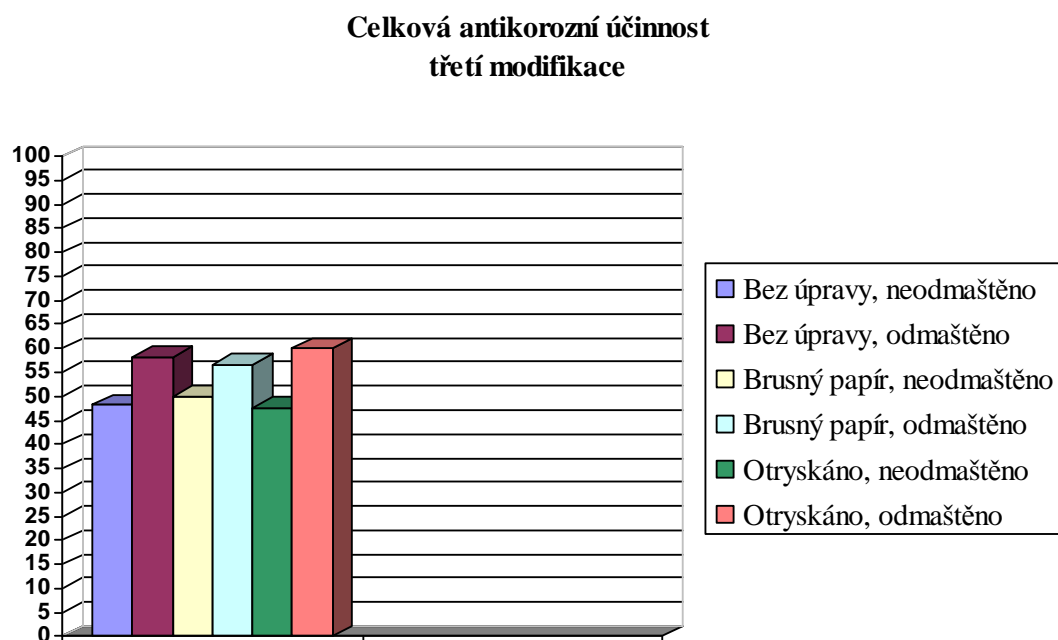
**Graf 5.13**



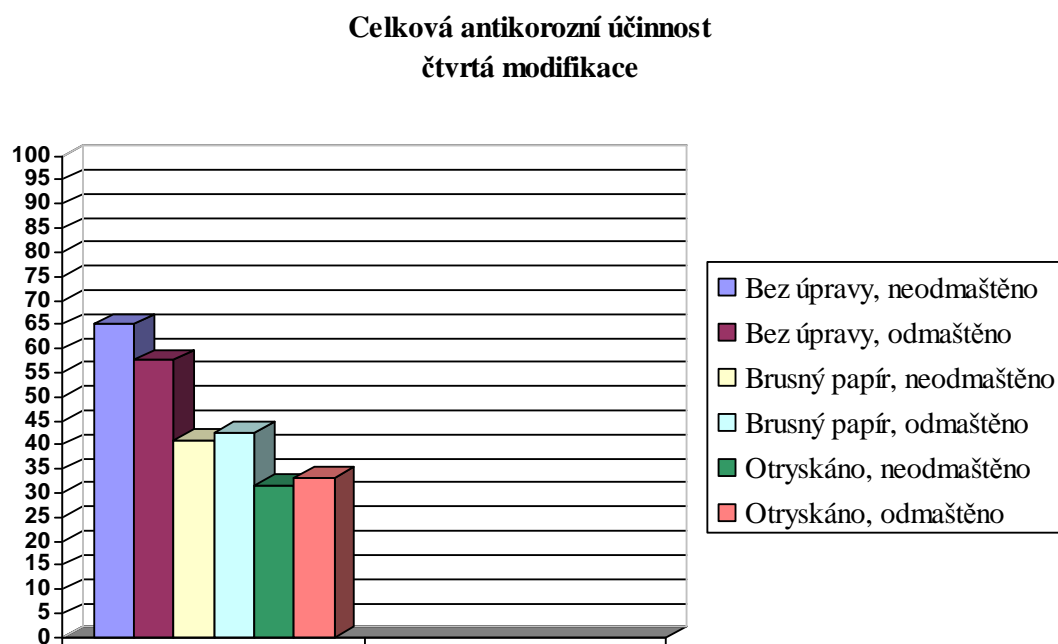
**Graf 5.14**



**Graf 5.15**



**Graf 5.16**



**Tabulka 5.5** Výsledky korozních zkoušek v komoře se solnou mlhou po 720 hodinách

Vzorek	Průměrná tloušťka nátěru [μm]	Puchýře		Koroze řezu		Koroze plochy		Antikorozní účinnost
		ASTM	Heubach	ASTM [mm]	Heubach	ASTM [%]	Heubach	
1/10	153,2	-	100	9	30	2	75	68,3
2/10	138,0	-	100	8	30	2	75	68,3
3/10	133,4	-	100	2	70	0,01	100	90,0
4/10	116,5	-	100	2	70	0,01	100	90,0
5/10	134,8	-	100	1	80	0,03	90	90,0
6/10	135,0	-	100	1	70	1	80	83,3
7/10	130,4	8F	75	8	30	5	68	57,6
8/10	112,3	4F	65	8	20	30	30	41,6
9/10	135,5	4F	65	5	50	5	60	58,3
10/10	132,1	8M	55	5	50	10	60	55,0
11/10	113,5	4M	45	6	40	33	20	35,0
12/10	110,2	8MD	35	4	50	50	10	31,6
13/10	152,1	8M	55	13	20	3	70	48,3
14/10	147,3	8F	75	8	30	3	70	58,3
15/10	135,3	8MD	35	7	40	2	75	50,0
16/10	151,1	2F	60	5	50	10	60	56,6
17/10	140,5	8MD	35	6	40	5	68	47,6
18/10	138,7	2F	40	5	50	3	70	60,0
19/10	150,1	8F	75	8	30	0,3	90	65,0
20/10	112,9	8F	75	8	30	5	68	56,0
21/10	145,1	8MD	35	12	20	5	68	41,0
22/10	150,8	2MD	20	7	40	5	68	42,6
23/10	143,1	8D	15	8	30	0,1	750	31,6
24/10	113,2	8MD	35	9	30	30	35	33,3

## 6. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá studiem antikoročních vlastností základního ocelového materiálu, ze kterého je tvořena konstrukce tramvaje. Jednotlivé vzorky materiálu jsou v různorodém technologickém stadiu úpravy, aby dokonale simulovaly skutečné stavy, které mohou nastat při samotném procesu výroby tramvajové konstrukce. Vzorky byly před samotným nanesením organického nátěrového systému vystaveny po určitý čas atmosférickému prostředí. Tato činnost byla pro výsledky následných zkoušek rozhodující, protože patřičným způsobem ovlivňuje a mění charakteristiku povrchu ocelového materiálu. Výsledky zkoušek prokázaly skutečnost, že čím je základní materiál více opracovaný, v našem případě drsnější následkem otryskávání a působí na něho následně atmosférické prostředí, tím stoupá jeho náchylnost ke vzniku koroze. Řádné odmaštění materiálu před otryskáváním rovněž nezabrání a neovlivní působení atmosférické koroze. Nejprokazatelněji dopadla zkouška puchýřkování, kdy u všech použitých variant nátěrových systémů dopadly právě vzorky technologicky nejlépe připraveny nejhůře. Rovněž u zkoušky prorezavění v ploše podkladu je vidět, že správně připravený podkladový materiál na tom není nejlíp. Při hodnocení celkové antikoroční účinnosti mezi čtyřmi druhy organických povlaků nátěrového systému, které se používají jako antikoroční ochrana tramvajových konstrukcí, dopadl nejlépe jednosložkový vodou ředitelný akrylát weco– FAN- jednovrstvý RAL 7022 nanesený na jednovrstvým vodou ředitelným dvousložkovým epoxidu s vysokým obsahem zinku. Zkoušky potvrdily správné uplatnění tohoto nátěru ve výrobě na dílech, které jsou nejvíce vystavené koroznímu napadení, a jedná se o nápravy a spodky tramvajových skříní.

Jednoznačně lze říci, že pro správný význam a účinek úpravy základního materiálu otryskáváním nelze v žádném případě tento povrch vystavit atmosférickému prostředí před samotnou aplikací nátěrového systému. Pokud k tomu dojde, povrch je znehodnocen a mnohem rychleji se začnou projevovat korozní účinky.

## Použitá literatura

- [1] Kalendová, A. *Metody testování korozně-inhibiční účinnosti organických povlaků*, in Sborník referátů přednesených na XXIX. Mezinárodní konferenci o nátěrových hmotách, Seč Chrudimi, Česká republika, (1998), str.16-17.
- [2] Rozhon, M., Dvořáček, J., Kalenda, P. *Sborník referátů přednesených na XXVII. konferenci s mezinárodní účastí o nátěrových hmotách*, Seč u Chrudimi, str. 46-47 (1996).
- [3] Podjuklová, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. VŠB-TU Ostrava 1994, str.24. ISBN 80-7078-235-8.
- [4] Mohyla, M. *Technologie povrchových úprav kovů*, VŠB-TU Ostrava 2000, str.39 ISBN 80-7078-953-0.
- [5] Podjuklová, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. VŠB-TU Ostrava 1994, str. 25. ISBN 80-7078-235-8.
- [6] Mohyla, M. *Technologie povrchových úprav kovů*, VŠB-TU Ostrava 2000, str.113 ISBN 80-7078-953-0.
- [7] Černý, M. *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*, SNTL Praha, str. 105 (1994).
- [8] Mýl, J., Trojan, M. *Anorganická technologie I*, VŠCHT Pardubice str. 4 (1986).
- [9] [www.maturita.cz](http://www.maturita.cz).
- [10] Petrášek, M., Kalendová, A. *Nitková koroze – specifická forma degradace organických povlaků*, in Sborník referátů přednesených na XXXI. Mezinárodní konferenci o nátěrových hmotách, Seč u Chrudimi, Česká republika, (2000), str. 230 – 234.



## Přílohy

### Vzorky po korozní zkoušce solnou mlhou

Základní ocelový materiál po 720 hodinách korozní zkoušky v komoře se solnou mlhou. Ze vzorků byl důkladně odstraněn nátěrový systém, poté byl odmaštěn a omyt vodou. Jednotlivé vzorky poodhalují schopnost ochrany organického povlaku proti šíření koroze pod samotným nátěrem od místa poškození, v našem případě řezu.

Vzorek č.1/10



Vzorek č. 2/10



Vzorek č.3/10



Vzorek č.4/10



Vzorek č.5/10



Vzorek č.6/10



Vzorek č.7/10



Vzorek č.8/10



Vzorek č.9/10



Vzorek č.10/10



Vzorek č. 11/10



Vzorek č.12/10





Vzorek č.13/10



Vzorek č. 14/10



Vzorek č. 15/10



Vzorek č. 16/10



Vzorek č. 17/10



Vzorek č. 18/10



Vzorek č. 19/10



Vzorek č. 20/10



Vzorek č. 21/10



Vzorek č. 22/10



Vzorek č. 23/10

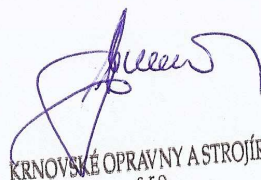


Vzorek č. 24/10



Podnik Krnovské opravy a strojírný s.r.o. souhlasí s uveřejněním podkladů a informací  
vyskytujících se v bakalářské práci studenta VŠB-TU Ostrava jménem Jan Priviczer.

Podpis zástupce



KRNOVSKÉ OPRAVY A STROJÍRNÝ  
s.r.o.  
Stará Ježnická 1556/1  
Pod Bezručovým vrchem, 794 01 KRNOV  
- 117 -

datum 10.9.2010

Tabulka 4.1 Příprava povrchu jednotlivých vzorků a druh použité nátěrové hmoty...	32
Tabulka 4.2 Převod stupně hodnocení puchýřkování dle daných kritérií.....	41
Tabulka 4.3 Systém hodnocení dle norem ASTM.....	43
Tabulka 5.1 Mřížková zkouška přilnavosti – první modifikace.....	44
Tabulka 5.2 Mřížková zkouška přilnavosti – druhá modifikace.....	45
Tabulka 5.3 Mřížková zkouška přilnavosti – třetí modifikace.....	45
Tabulka 5.4 Mřížková zkouška přilnavosti – čtvrtá modifikace.....	45
Tabulka 5.5 Výsledky korozních zkoušek v komoře se solnou mlhou.....	62
Graf 5.1 Stupeň puchýřkování dle Heubacha – první modifikace.....	54
Graf 5.2 Stupeň puchýřkování dle Heubacha – druhá modifikace.....	54
Graf 5.3 Stupeň puchýřkování dle Heubacha – třetí modifikace.....	55
Graf 5.4 Stupeň puchýřkování dle Heubacha – čtvrtá modifikace.....	55
Graf 5.5 Koroze podél řezu dle Heubacha – první modifikace.....	56
Graf 5.6 Koroze podél řezu dle Heubacha – druhá modifikace.....	56
Graf 5.7 Koroze podél řezu dle Heubacha – třetí modifikace.....	57
Graf 5.8 Koroze podél řezu dle Heubacha – čtvrtá modifikace.....	57
Graf 5.9 Korozní změny kovového podkladu dle Heubacha – první modifikace.....	58
Graf 5.10 Korozní změny kovového podkladu dle Heubacha – druhá modifikace.....	58
Graf 5.11 Korozní změny kovového podkladu dle Heubacha – třetí modifikace.....	59
Graf 5.12 Korozní změny kovového podkladu dle Heubacha – čtvrtá modifikace.....	59
Graf 5.13 Celková antikorozní účinnost – první modifikace.....	60
Graf 5.14 Celková antikorozní účinnost – druhá modifikace.....	60
Graf 5.15 Celková antikorozní účinnost – třetí modifikace.....	61
Graf 5.16 Celková antikorozní účinnost – čtvrtá modifikace.....	61